

A MÚLT MAGYAR TUDÓSAI

FŐSZERKESZTŐ:

TOLNAI GÁBOR

SZERKESZTŐ:

SZALAI SÁNDORNÉ



244916

DÁNIEL JÓZSEF

BÉKÉSY GYÖRGY



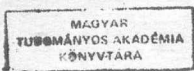
AKADÉMIAI KIADÓ

BUDAPEST 1990

**MTA
KIK**



678063



ISBN 963 05 5616 2

Kiadja az Akadémiai Kiadó, Budapest

Első kiadás: 1990

© Dániel József, 1990

Minden jog fenntartva,
beleértve a sokszorosítás,
a nyilvános előadás,
a rádió- és televízióadás,
valamint a fordítás jogát,
az egyes fejezeteket illetően is.

Printed in Hungary



TARTALOM

Az életút	7
Az ifjúkor	7
Az alkotómunka boldog évei	53
Útban a világhír felé	134
Szemben Kuan Yin istennővel	181
Az életmű	190
A csiga mechanikai folyamatainak felfedezése	190
A csiga elektromos folyamatai. Más érzékszervek vizsgálata	252
Bibliográfia	283

AZ ÉLETÚT

AZ IFJÚKOR

Az átlagon felüli tehetség sokszor emelkedik ki magányos óriásként névtelen ősök és jelentéktelen utódok generációinak láncolatából. A természet azonban számos esetben jelzi előre, hogy rendkívüli mű megalkotására készül. A XX. század egyik legjelentősebb magyar fizikusának, Békésy Györgynek családjában a szellemi értékek megbecsülése tiszteletreméltó hagyomány. Édesanyja Szlavóniából, Cadjavica községből származik. A múlt század utolsó harmadában a leánynevelésnek még nem legfon-

tosabb eleme a szellem kiművelése. A szlapon tölgyesek között meghúzódó falucskában csak szerény népiskola lehet; az élénk felfogású kislány így a helybéli rabbitól tanulja a német nyelvet.

Az édesapa, Békésy Sándor erdélyi családból származik, amely — a szájhagyomány által megőrzött tradíció szerint — egykor Debrecenből költözött át Transzszilvániába. Szülővárosában, Kolozsvárott végezte középiskoláit. Egyetemi tanulmányait ugyanitt kezdi, Bécsben, Berlinben folytatja, majd Kolozsváron fejezi be. Doktorál, és Merker professzor meghívja tanársegédnek a közgazdaságtudományi tanszékre. Később államigazgatási

szolgálatba lép, és a kereskedelmi minisztériumban iparfelügyelőként helyezkedik el. Szakterületén jelentős irodalmi munkásságot fejt ki. Az öregségi és rokkantsági biztosítás rendszerének intézményes kidolgozásakor dr. Békésy e tárgyban megjelent munkáit veszik alapul a magyar biztosítótársaságok.

A család oldalágain is tipikus a szellemi tevékenység iránti orientáció. Jogász és orvosprofesszor, műszaki kérdésekkel bíbelődő, felfutáló hajlamú tábornok egyaránt fellelhető a nagybácsik között. A művészi hajlam és a tudományos érdeklődés több esetben ötvöződve jelentkezik a család jelentős személyiségeiben. A fizikus Békésy húga

a művészettörténethez vonzódik, öccse a szobrászat és a biokémia között osztja meg érdeklődését.

A Budapesten, Pauler u. 1. sz. alatt lakó Békésy család első gyermeke 1899. június 3-án, fél tizenkettőkor pillantja meg a napvilágot. A György névre keresztelt fiúcska szemmel láthatólag gyenge szervezetű, betegsége hajlamos természet. A család valamelyest tanácstalan háziorvosa, tartván magát a nagynevű Skoda professzor javallatához, a „medica mente, non medicamento” elv alapján levegőváltozást indítványoz. Dr. Békésy Sándornak ebben az időben lehetősége nyílik arra, hogy a külügyminisztérium állományába átlépve,

ipari szaktudósítói minőségben Münchenbe akkreditáltassa magát. Érvényesül a bajor fennsík hűvös és üde levegőjének gyógyhatása, és a családi fészekalj szeniorjának, akit Lola és Miklós nevű testvérei követnek, egészsége helyreáll. Szülei azonban, nem sejtve milyen szenzitív, könnyen sérülő lélek rejtőzik a törékeny kisfiúban, idővel elmesélik a válságos csecsemőkor történetét. A csaknem hét évtized távlatából visszapillantó Békésy önéletrajzi írásaiban elmondja, hogy ez az ifjúkori lelki trauma egész életén végigkíséri. Tehetetlenségében a természet vakon munkáló erőihez folyamodik a medicina: kudarca elülteti benne a tudat alatti

kétkedést. Különös paradoxon: az orvosi Nobel-díj birtokosa mindig némi szkepszissel figyeli a gyógyító orvostudományt.

Békésy egészsége — amennyiben saját feljegyzéseit vesszük alapul — a későbbiekben is elég törekény. A róla készült fényképek, rokonainak és barátainak tanúsága szerint sem robusztus alkat. A sok évtizeden át szívósan dolgozó tudós (még élete alkonyán is napi 500 oldalt lapoz át egyéb munkája mellett!) intenzív szellemi tevékenysége azonban nehezen egyeztethető össze a test nagymértékű esendőségével. Nehéz elzárkózni az elől a feltevés elől, hogy a gyermeki emlékezés ébredése előtti

életveszély utólagos tudatosodása lappangó hipochondriát fejlesztett ki benne. Hogy ez miként nyilatkozik meg a felnőtt Békésy élet-sorsának fordulójánál, arról még beszélünk.

A századforduló Münchenének világa — melyből első benyomásait felszívja a gyermek — bővelkedik azokban az ingerekben, melyek hatékonyan segítik a fogékony értelem kibontakozását. A bajor metropolis Németország művészetének fővárosa. Szellemi kisugárzása messze terjed: Párizs mellett a festészet és szobrászat legjelentősebb európai centruma. A művészetpártoló bajor uralkodók jóvoltából itt létesülnek Német-

föld legjelentősebb kép- és szobor-
gyűjteményei. Operaháza és hang-
versenytermei a kontinens legjobb
muzsikusainak jelentenek rezo-
nans közeget művészi mondaniva-
lójuk kibontásához. A széles mű-
veltségű Békésy Sándor egyéni-
sége sok barátot vonz. A ház úr-
nője, Paula asszony élénk szellemé-
vel természetes központja a sza-
lonba gyülekező müncheni mű-
vésztársaságnak. Ebben az élénk,
pezsgő szellemi életben nevelked-
nek a Békésy testvérek; igaz,
egyelőre még a gyermekszoba aj-
tórésén át figyelve az új színekben
gazdag világ eseményeit. Az apai
barátság szálai nyomán azonban a
gyermekléptek eltipegnek a ház-

ban lakó festő műtermébe vagy a szomszéd utcabeli szobrász alkotóműhelyébe. És itt a kis György szeme olyasmit lát meg, aminek észlelése metsző világossággal mutatja a szellemileg túlfejlett gyermek rendkívül éles megfigyelőképességét. A munkájában elmerült szobrászt és modelljét szemlélve látja, hogy a születő szobor élő mása miként igyekszik segíteni munkájában a mestert. Egyszerre érzékeli a történet a létezés szakadékanak mindkét partján. Az egyik oldalon a művészt, aki a belső látomás képére formálja az anyagot; másikon a művészi élmény felidézőjét, a modellt, aki idegszálainak minden rezzenésével,

mozdulatlanul és mégis aktívan segíti a mű megalkotásában a szobrászt. Érdekes megfigyelni, hogy évtizedek múlva Békésy tudatában miként alakul át tudományos ars poeticává a művészet szférájából származó élmény. A szobrász szerepébe a kutatást szellemi erejével irányító tudóst, a modellébe munkatársait helyettesíti be. Kifejti meggyőződését: a siker nélkülözhetetlen előfeltétele a közös alkotás létrehozására irányuló fenntartás nélküli odaadás.

München a német tudomány egyik fellelegvára is. Itt építik meg az első automata telefonközpontot, és itt létesítik majd a világ talán leggazdagabban felszerelt

technikai múzeumát. A nagyváros életfunkcióinak józan német racionalizmussal történő megszervezése maradandó hatást gyakorol az éber megfigyelőképességű gyermekekre. Érzékeli és átéli a bajor föld népének csodálatos könnyedségét és életvidámságát. Ezt a modellt a napjait pontos időbeosztással, szinte aszketikus szigorral élő felnőtt Békésy sohasem fogja követni. Hawaiban azonban, mikor a pályája csúcsára felérkezett nagy öreg visszapillant életére, és számba veszi az önmegvalósítás tarka változatait, leplezetlen nosztalgiával emlékezik a mostoha létezés felett lebegő bajor életművészet könnyedségére.

A német nyelvű környezetben való nevelkedés szükségszerűvé teszi, hogy megfogalmazzuk a kérdést: tulajdonképpen mi is az anyanyelve a magát mindhalálig öntudatosan magyarnak valló Békésnek?

A családon belül érvényesül a monarchia idejének intellektuel körökben elég megszokott jelensége, a kétnyelvűség. Az apa magyarul, az anya németül beszél gyermekeihez. A magyar szót nevelőnőktől tanulják, elég gyér eredménnyel. Az állásukból sorra távozó nevelők eleven tanúbizonyosságai a gyermekek egyoldalú pedagógiai sikereinek: valamennyien kiválóan megtanulnak németül,

míg tanítványaik csak törve beszél-
lik a magyart. Miklós, a legfiata-
labb testvér tanul meg először
tökéletesen magyarul; igaz, ő isko-
láit jórészt Pécsett végzi. György
csak érettebb korában tökéletesíti
magyar nyelvtudását, azonban az
elsődlegesen elsajátított némethez
sok területen ragaszkodik. Tudo-
mányos feljegyzéseit németül írja,
édesanyjával mindvégig ezen a
nyelven levelez. Kifejezőkészsége
előadásában kifogástalan; bár a
magyar szöveget időnként német
szakkifejezések tarkítják.

A müncheni tartózkodás idején
kezdi meg elemi iskolai tanulmá-
nyait. 1909-ben azonban édesapját
áthelyezik Konstantinápolyba, és a

család is követi őt új állomáshe-
lyére. A nagykövetség Pérában
van, Békésyék viszont a kis-ázsiai
parton laknak. Ez a körülmény a
boszporuszi naplementék feled-
hetetlen élményében részelteti a
kis Györgyöt, azonban két év
múlva hozzájárul majd a család
menekülésszerű távozásához. Egye-
lőre még élvezik a hanyatlásában
is tündöklő Oszmán Birodalom
végnapjainak szépségét. Az ifjú
Békésy szellemi gondozását Tö-
rökországba emigrált francia nem-
zetiségű jezsuita szerzetesek veszik
át. A kiemelkedően értelmes fiúcs-
ka a derék atyák kedvence lesz,
akiknek pedagógiai éhségét aligha
elégítheti ki az európai kolónia

gyermekeiből verbuválódó szűkös választék oktatása. A kitűnően felkészült tanárok a kiváló gyermeket képességeihez szabott, egyéni tanterv szerint oktatják. Az eredmények önmagukért beszélnek. Két év alatt oly alaposan megtanul franciául, hogy képes a nyelv teljes kifejező erejének érzéklésére. „... csodáltam, hogy milyen tökéletességgel lehet vele minden gondolatot kifejezni.” Ilyet nyilvánvalóan csak olyan ember ír le, aki mélyen behatolt egy nyelv szellemébe. A francia iskola egyes tanáraival fél évszázadon át tart kapcsolatot. Oktatói intellektuális színvonalára jellemző, hogy — 1968-as önvallomása szerint —

egyik tanárának bölcs levelei még a hatvanéves Békésben is új gondolatokat ébresztenek. A tartósan konstans közös szellemi hullámhossz létezése annál különösebb, mert a jezsuiták köztudottan az ecclesia militans legelszántabb bajnokai voltak, tanítványuk viszont minden vallási kérdésben a közömbösséggel határos módon toleráns.

A konstantinápolyi szép napoknak a történelem eseményei vetnek véget. Az uralkodók által kezdeményezett, félresikerült reformok képtelenek megoldani a hanyatló török birodalom belső problémáit, és 1912-ben kirobban az ifjútörök forradalom. A felke-

lők elkeseredett gyűlöletének természetes célpontja a szultáni rezidencia, melynek szomszédságában Békésyék laknak. A végelgyengülés agóniáját vívó Oszmán Ház erejéből már arra sem futja, hogy az „Európa Beteg Emberét” oly sokszor megmentő európai nagyhatalmak diplomatáinak személyes biztonságát szavatolja. Intő jelek az utca napról napra ismétlődő véres eseményei, ezenkívül a család bizalmas barátja, egy, az udvarhoz közelálló pasa is figyelmezteti őket: ne késlekedjenek az életveszélyessé vált város elhagyásával.

Rövid magyarországi intermezó. A familia végiglátogatja népes rokonságát. Járnak az ősi családi

fészekben, Kolozsvárott. A botanikus kert szomszédságában ma is áll a jogászprofesszor nagybácsi, Békésy Károly háza. Az épület kertjében hatalmas, simára koptatott kövekből alakított kör a zöld gyepen. A Békás szorosból hozták őket. A homlokzatot a nagybácsi freskói díszítik. A verselgető, muzsikáló, reneszánsz sokoldalúságot formázó Károly bácsi kiemelkedő személyisége a családnak. A találkozás futó emlék lehet csak, az ifjú György génjeiben hordozott hajlamok kibontakoztatásához vélhetőleg mégis hozzájárul a múltó impresszió. Tanúbizonysága a nagybácsi személyes szuggesztivitásának, hogy egyaránt emlékezik

rá Lola húga (dr. Passuth Lászlóné) és testvéröccsének, dr. Békésy Miklósnak özvegye is.

A testvérek végül az anyai rokonságnál, Pécssett kötnek ki, hogy egy tanítónál tökéletesítsék magyar nyelvtudásukat. 1913 őszén az idősebb fiú az Attila utcai gimnáziumban kezdi meg tanulmányait. Az édesapát ugyanebben az évben nevezik ki svájci külképviseletünk I. osztályú követségi tanácsosává. Zürichbe költöznek, és Békésy György újra német nyelvterületen folytatja tanulmányait. Amerikai életrajzírója, Floyd Ratliff szerint a zürichi Minerva magángimnázium növendéke. Békésy viszont önéletrajzi jegyzeteiben azért di-

cséri apját, mert a magánintézeteknél nívósabb képzést nyújtó állami iskolába iratta. Az utóbbi változatot erősíti meg Passuth Lászlóné is. Az új iskola képzési rendszere lényegesen eltér az Európa-szerte megszokott kötött gimnáziumi tantervtől. A diákoknak lehetőségük van arra, hogy néhány kiválasztott tárgyból több osztály óráit is párhuzamosan látogathassák. Ily módon egy év alatt két osztály anyaga is abszolválható, és a szellemileg fürge tanuló, saját képességeinek megfelelő tempóval haladva, megelőzheti azonos korú társait. Ezt a lehetőséget használja ki a magyar diplomatagyerek is, és tizenhatodik évét betöltve érett-

ségi vizsgára jelentkezik. Dr. Békésy Sándor maga jár utána, hogy a svájci tanügyi szervek elfogadják az előírt korhatártól még messze elmaradó maturandus jelentkezését. A Bernbe kiszálló vizsgabizottság elnöke a szigoráról közismert matematikus, Kohl-Schüttel professzor.

Békésy az érettségire igen nagy gonddal készül. A kötelező anyagot nappal könnyedén elsajátítja; mégis hosszú éjszakák során át búja a könyveket. A dolgok mélyére hatoló, minden részletet megvizsgáló alkata már ekkor megnyilatkozik. A fiatalember egyébként elszomorító ellenpélda a tanulási módszerek hierarchiájában kulti-

kusan hívők számára. A későbbi Nobel-díjas ugyanis a pedagógia elmélete által rendkívül primitívnek minősített módszerrel, hangoosan biflázva tanul.

Az idő előtt kieroeltetett érettségiről a jelölt a teljes letörtség állapotában érkezik haza. „Megbuktam” — jelenti ki lakonikusan. A szülőkön döbbent értetlenség vesz erőt, és próbálják kiszedni belőle, mi történt tulajdonképpen a vizsgán. Kétségkívül, koraérett és folyton idegen nyelvű környezetbe plántálódott gyermeküknek voltak néha problémái az iskolával. Ám a különféle intézetek mindegyike végül is „kiemelkedően tehetséges”, „kiváló képességű”

minősítésekkel bocsájtotta el tanítványát. Mi történhetett az ominózus berni, Kohl-Schüttel irányításával celebrált érettségi vizsgán?

A szülők faggatására a különben is zárkózott György fiú nagynehezen elmondja, hogyan folyt le a vizsga. Elég jól szerepelt valamenyny tárgyból, míg végül sorra nem került a matematika. Az elnök két órán keresztül teszi fel a kérdéseit, azonban az utolsó feladatot Békésy nem képes megoldani. Leteszi a krétát, és némán mered a bizottságra. „Köszönöm” — mondja Kohl-Schüttel, és a vizsga befejeződik.

A zürichi gimnázium korengedményes növendékét tanárai tehet-

séges matematikusnak tartották. Az érthetetlen és csúfos fiaskó idősb Békésyt arra készteni, hogy magándiplomáciai tevékenységbe kezdjen. Az eredményhirdetés előtt felkeresi Kohl-Schüttelt, hogy megérdeklődjé, miként értékeli fia érettségi szereplését a szigorú tanár. A nap második meglepetése most következik: a fegyelmezett és a dicséret osztogatásában közismer-ten fukar professzor lelkes elismeréssel gratulál a némileg megrökönyödött atyának tehetséges gyermekéhez. A vizsgázó ugyanis a helyzetet teljesen félreértette. Az elnök felfigyelt a kiemelkedően értelmes fiatalemberre, és megkísérelte kideríteni, meddig terjed a

rendkívüli képességű diák tudása. Az utolsó feladat egyébként megoldhatatlan volt.

A végtére is látványos sikerrel záródó érettségit nem követik egyetemi tanulmányok. Békésy ugyanis nem töltötte még be az egyetemi polgárok számára előírt minimális életkort. Olyan szakasza következik most életének, mely ugyan logikusan illeszkedik majd a Nobel-díj felé ívelő pályafutásba, de 1915-ben még nem tűnik egyébként egy megmagyarázhatatlan vargabetűnél.

Az eddig elmondottakból kitűnik, hogy a jó módú családból származó, kizárólag szellemi tevékenység iránt érdeklődő ifjú alapjában

a századforduló nagypolgári nevel-
tetésű gyermekeinek életmódját
folytatta. Ebben a társadalmi réteg-
ben viszont aligha lehetett tipikus,
hogy az egyetem kapuinak nyitá-
sára váró fiatalember inasnak sze-
gődjék el egy finommechanikai
műhelybe. Mestere, a „nagyon
öreg és nagyon precíz” műszerész,
gyanakvó előítélettel szemléli a
más szférából érkező betolakodót.
Érdekes, hogy az élet szokványos
szituációiban magát nehezen fel-
találó Békésy a fonák helyzetnek
hamar fölébe kerekedik. A gyenge
fizikumú, üvegházi védettségben
felnövekvő ifjú egyre otthonosabb
a tanonci sorban. Gyanakvó mes-
terét azzal fegyverzi le, hogy a

műszerézmunkának az öreg számára fogas, de a fiatalembernek alapján véve egyszerű matematikai problémáit játszi könnyedséggel oldja meg. Miután az öreg berni meggyőződik arról, hogy van mit egymástól tanulniok, bizalmába fogadja az arisztokratikusan finom kezű kisinast. Ekkor még Békésy sem sejti, hogy életének milyen fontos szakasza következik. Megbarátkozik a fémmegmunkálás finom eszközeivel, és megszerzi a manuális készségnél sokkal fontosabb műszaki tájékozottságot. Megismeri a precíziós gépek használhatósági területét és teljesítőképességének határát. Ez az alapos műszaki tudás az egyik pil-

lére annak a sokszor megcsodált invenciónak, amivel az akusztikus Békésy megtervezi meghökkenően egyszerű és a megcélzott jelenséget leghatékonyabban vizsgáló műszereit.

Egyetemi tanulmányait 1917-ben, Bernben kezdi meg. A kémiai fakultásra iratkozik be, és nagy ambícióval fog a tanuláshoz. Anélkül, hogy a módszeres ismeretszerzés gyakorlatát lebecsülnénk, két olyan eseményt célszerű megemlíteni, mely döntően befolyásolta a fiatal tudósjelölt munkamódszerének kialakulását.

A laboratóriumi tevékenységhez már ekkor nagymértékben vonzódo Békésy hosszú órákat tölt a

kémiai intézet fortyogó lombikjai között. Az egyelőre még gyér kémiai ismeretekkel bíró „kutató” fáradozását váratlan siker jutalmazza: előállít egy ismeretlen anyagot, amit legjobb hite szerint új kémiai elemnek vél. Nem vitatható, jelentős önbizalom kell ahhoz, hogy valaki ekkor, 1918 táján egy ilyen fontos felfedezés birtokosának higgye magát. A periódusos rendszerben mindössze hat üres hely van, és a hiányzó elemeket — általában előzetes spektroszkópai kimutatást követően — csak bonyolult és fáradságos eljárások sorával tudják elkülöníteni. Az egyetemi hallgatók berni laboratóriuma aligha rendelkezett a

szükséges komplikált berendezésekkel, továbbá a fiatal Békésy sem sajátíthatta még el az izoláláshoz nélkülözhetetlen széles körű szaktudást és kísérletezői tapasztalatot.

A kémiai tanszék vezetője szűkszavú, zárkózott ember lévén, Békésy csak némi tépelődés után szánja rá magát arra, hogy felfedezéséről a professzor véleményét kikérje. A tanár rövid hallgatásba burkolódzik, majd kurtán mondja ki a tömör szentenciát: „A könyvtár a második emeleten van.” A szakirodalomra ekképp rákapatott fiatalember rövidesen kideríti, hogy kémiai eleme nem egyéb, mint egy szilícium tartalmú vegyület.

A zuhany kétségkívül jeges volt. A konfliktus zárása viszont megvilágítja lelki alkatának egy jellemző vonását. Kudarcain azzal a legmagasabb rendű módszerrel küzdi át magát, amit a pszichológia „racionális feldolgozás” néven ismer. A tanulságot egy életre megjegyzi. Majd fél évszázaddal később elmeséli az esetet egy amerikai barátjának, hozzáfűzve, hogy ez a kemény lecke számára sok teljes egyetemi kurzusnál tanulságosabbnak bizonyult.

A másik nevelő hatású esemény egy balul kiütött demonstrációs kísérlet volt. A kémiai technológia professzora az ammóniaszintézis ipari folyamatát kívánta bemutatni

egy laboratóriumi modellen. Az előre összeállított berendezés valami titokzatos hiba következtében a bekapcsolás pillanatában felrobbant. A professzor elnézést kért üvegszilánkokkal borított, ám csodálatos módon sértetlen hallgatóságától, és az előadást meglepő fordulattal folytatta. Asszisztenseivel új eszközöket hozatott be, és ismét hozzáfogott a berendezés felépítéséhez. A robbanástól sokkolt hallgatókat előbb a professzor higgadt nyugalma, majd a fokozatosan kialakuló kísérleti eszköz nyűgözte le. Alkalmuk nyílt genezisében nyomon követni a tudományos gondolkodás logikusan épülő folyamatát. Megfigyelték, tanáruk ho-

gyan keresi lépésről-lépésre az elkövetett hibát, míg a baleset okát megtalálva és elhárítva a működőképes berendezést össze nem állítja.

A rendhagyó kísérlet úgy lekötötte az ifjú vegyészjelölteket, hogy egyéb előadásaikról megfeledkezvén, hét órán keresztül figyelték professzoruk munkáját, míg végül a berendezés megkezdte a szintetikus ammónia előállítását. Az alkotás folyamatába való bepillantás olyan élményt nyújt Békésynek, mely döntő mértékben irányítja őt a kutatói pálya felé.

Az egyetemi tanulóévek kapcsán célszerű kitérni munkamódszerének, ismeretszerzési eljárásának kérdésére. Néhány alapvető

dolgot azért is tisztázni kell, mert szellemi alkatának, tudósi habitusának kiépülése területén csak akkor látunk világosan, ha néhány gondolkodásbeli sajátosságára is fényt derítünk.

Idézzünk talán két mondatot saját írásából. „Meggyőződtem arról, hogy szükségem van egy bizonyos alapvető tudásra, de aztán már rájöttem, hogy minden tudomány a könyvtárakban van, és nem a professzorok fejében. Manapság ez még inkább így van.” Mindezt 1969-ben vallja így; első mondatában berni tanárainak munkájáról mondván sommás értékítéletet. Hangsúlyoznunk kell még, hogy az idézet nem összefüggéseiből ki-

ragadott, és teljes összhangban van szerzőjének más helyen kifejtett gondolataival.

Nem lenne helyes, ha Békésy állítását egy olyan kinyilatkoztatásnak tekintenénk, mellyel a XX. század tudományos ismeretszerzésének tipikus módszereit kívánja meghatározni. A fizikatörténet művelői jól tudják, hogy éppen századunkban milyen nagy szerepet töltöttek be a tudomány fejlődésében a neves fizikai iskolák.

Elég utalnunk a Rutherford szellemi bűvöletében kibontakozó cambridge-i kutatógárdára vagy a híres német egyetemek plejádjainak rendszerére. Közismert, hogy az 1920-as évek Berlinje az elmé-

leti fizika olyan fellegrára, ahol a naponta ismétlődő reggeli kollóviumokon tucatnyi Nobel-díjas gyülekezik az előadóterembe (Wignernek és Teller Edének csak a harmadik sorban jut hely). Nehéz lenne tagadni, hogy az új, az alkotó gondolatok elsődleges lelőhelyei mégiscsak a professzori agyak és nem a könyvtárak holt betűi. A folyóiratok és könyvek csupán a gondolatcserék izzó kohójában ötvöződött, laboratóriumok bonyolult berendezéseiben anyagiasult eszmék írott rögzítései.

A fenti idézetet tehát nem szabad tudományos rendezőelvként kezelni, viszont jól használha-

tó kulcsot találunk benne Békésy tudományos alkotóműhelyének feltárásához. Nyilvánvaló, hogy egyetemi tanulmányai során nem kerül olyan nagy tudóseyéniség befolyása alá, aki döntően orientálná érdeklődését, segítené tehetsége kibontakozását. Érdeklődése tehát szükségszerűen fordul a könyvtárak felé. Számára a tudás ősforrása kizárólag a leírt, és nem az előszóval átadott ismeret marad. Így válik a szó legnemesebb értelmében vett autodidaktává. Belső belátástól vezérelve változtatja a tanulmányozott területeket. A kémiát fizikára cseréli, majd érezve a matematikai alapok szükségességét, erre tér át. Végül elmé-

leti fizikai stúdiumokba kezd. Mikor hosszú évek múlva megtalálja az érdeklődésének legjobban megfelelő kutatási irányt, akkor is olyan területekre hatol be, melyeken teljesen társtalan. Kétségkívül dolgoztak a Helmholtz-féle halláselmélet tökéletesítésén mások is; csak hogy külföldi laboratóriumokban, és eredményeikről a magyar tudósnak csak publikációik adnak hírt. Az első külföldi meghívásokat akkor kapja, a jelentős laboratóriumok akkor nyílnak meg előtte, mikor már az emberi hallás kutatásának világszerte ismert szakembere. Az első szakaszt azonban egyedül kellett megtennie. Arról, hogy szakterületén mindad-

dig mi történt, vagy mi történik, a könyvek és a folyóiratok adtak csak hírt. Pályakezdéséből és életútjának első szakaszából látjuk, hogy magányos ember volt. Magányos maradt mindvégig, tudományának egyedülálló óriása. A Hawaiból életére visszapillantó Békésy nyilván nem másoknak kíván tanácsot adni, hanem saját pályakezdésének tanulságait összegzi.

A derűs svájci éveket beárnyékolja az első világháború. A Berni Alpok égének kékségén ugyan tenyérnyi folt sem jelzi, hogy már lángba borult fél Európa; egy Budapestről érkező behívóparancs azonban tudatosítja a katonasorba került Békésyben, hogy a kettős

Monarchia számít szolgálatára. A sorozóbizottságok a háború utolsó évében már aligha lehettek túl igényesek; a mérsékelt enklávas tudósjelölt mégis alatta marad várakozásuknak. Katonaruhába bújtatják ugyan, de azonnal egy hadikórházba utalják, hogy kincstári menázsinn roborálják hadra foghatóvá az ösztövért intellektuelt. Nehéz dolog nem Svejk nézőpontjából szemlélni az angyalian naiv tiszteket, akik a bőség honából érkezett ifjút a K. und K. hadsereg atyai gondoskodásával kívánják feltáplálni. Teszik ezt akkor, mikor már a legjobb ellátásban részesülő frontcsapatok is lukulluszi lakomának tekintik a végelgyengülésben

kiszenvedett igásló mócsingjával ízesített híg levest. Dr. Békésyné — az energikus Paula asszony — azonban kevésbé türelmes szemlélője a katonai korlátoltságnak, és dührohamot kap, mikor fia sorsáról értesül. Mozgásba hozza a család nem jelentéktelen összeköttetéseinek hálózatát, és a hadügyminisztériumban akad végül egy tiszt, aki hajlandó kockáztatni az Isonzó-front szilárdságát azáltal, hogy elbocsátja a hadseregéből a jelenleg még pót-pót tartalékként számításba vett Békésyt.

A megviselt Monarchia rövidesen széthull az entente cordiale súlyos csapásaitól. Dr. Békésy egyelőre svájci állomáshelyén marad,

és fia a berni egyetemen fejezi be tanulmányait. 1921-ben apját néhány hónapra Prágába helyezik, majd hazatér Budapestre.

Békésy György tíz évet töltött el Svájcban, ezért lehetősége van arra, hogy svájci állampolgárságért folyamodjék. A letelepedést indikálja az államszövetség egyik központi laboratóriumának ajánlata: lépjen a berni intézmény munkatársai sorába. A frissen diplomázott kémikus azonban elhárítja a kedves gesztust, amit az idegen konkurenszel mérsékelten rokon-szenvező svájciak csak kivételesen tesznek meg, és hazatér. Két oka van erre. Egyrészt a magyarul csak törve beszélő, élete jó részét

idegen földön leélt fiatalemberben felébred a sorsközösség tudata. Haza kíván térni, hogy osztozzék honfitársaival nemzete balsorsában. Másrészt apja is hívja, hogy követvén példáját, ő is idehaza szerezze meg a doktori címet.

Tangl professzor fogadja a fiatal doktorandusz témáját, és 1923 nyarán elkészül a disszertáció. A vizsgákat letéve a fiatal bölcsészdoktornak rövidesen alkalma nyílik arra, hogy megtapasztalja: milyen a magas színvonalú tudományos hozzáértés hazai árfolyama. Egyelőre a család felett még derűs az ég. Balatoni nyaralójukban gyűlnek össze, hogy együtt ünnepeljék Dr. Békésy Sándor és Mazaly

Paula házasságának huszonötödik évfordulóját.

Ki sejtené, hogy oly közel ólálkodik már a sehol sem várt, hivatlan vendég? Az apát a meghitt ünnepen, családja köréből ragadja el egy szívroham. A tragédia Békésyék anyagi egzisztenciáját is megrendíti. A szerzett tudás alkalmazásának belső kényszerén túlmenően is szükségszerű, hogy az idősebb fiú állást keressen. Természetesen olyan munkahelyet szeretne találni, mely alkalmas magas kvalifikációja gyümölcsöztetésére. Először az Egyesült Izzóval próbálkozik. A gyárüzem kitűnően szervezett, európai mércével mérve is korszerű vállalat. Tucatnyi

világsszabadalmából származó exportbevétel teszi ki az ország külkereskedelmének jelentős hányadát. Az imponáló teljesítmény hátterében a kiváló laboratórium áll, melyben Selényi Páltól és Bródy Imrétől Bay Zoltánig és Gábor Dénesig számos nagy fizikus tevékenykedik. Az Izzó laboratóriumában azonban nincsen szabad státus. Békésy folytatja az egyre reménytelenebbé váló és megalázó kilincselést. Bőséges alkalma nyílik most arra, hogy Svájc tudást becsülő nyájasságát a tudomány hazai múzsaínak szeretetreméltóságával összehasonlítsa.

A nehéz helyzetben egyetlen támasza édesanyja, a válságban a

család fejévé emelkedő, erős lelkű Paula asszony. Ő biztatja, bátorítja gyermekét a szinte reménytelennek látszó pályakezdés nehéz időszakában. A nagy intellektuális erejű Békésyné, az anyák örök hitén túlmenően, belső bizonyossággal látja előre, hogy fia rendkívüli tehetsége végül is érvényesülni fog.

„Anyámnak volt esze, ereje és kitartása ahhoz, hogy átvészeljük ezt a nehéz korszakot. Ő tartotta bennünk a lelket, mikor a bölcsész-doktorátus megszerzése után nem volt gyakorlatilag semmi keresetem, és ő volt az egyetlen, aki mellettem állt, és azt mondta, hogy ne adjam fel. Az anyák sok

esetben nemcsak egyszer, hanem kétszer is életet adnak az embernek.”

AZ ALKOTÓMUNKA BOLDOG ÉVEI

1924-ben néhány hónapig egy optikai kisüzem, a kb. negyven munkavállalót foglalkoztató Süss cég alkalmazza. Békésy azonban olyan intézményt keres, mely lehetőséget ad kutatói ambíciói érvényesítésére. A megfelelő laboratóriumot a Postakísérleti Állomáson véli megtalálni. Ez év decemberében már a Postakísérleti állományában találjuk, ám mérnöki diploma hiányában a legalacsonyabb laboratóriumi

beosztásba sorolják. Az Állomás bizonyos mértékig alkalmas arra, hogy szerény, de garantált anyagi lehetőségeivel elindítson pályáján egy fiatal tudóst. A trianoni Magyarország ugyanis, az egykori Monarchián belül elfoglalt földrajzi helyzete miatt központi ideg-dúca a kelet-európai telefonhálózatnak. A távvezetékek az Állomás kábelaknáin haladnak keresztül, ám ez a kulcspozíció súlyos terhet ró a magyar postára. Közismert történelmi tény, hogy az ún. kisantant államok és Magyarország viszonya korántsem jószomszédi. A cseh, román, jugoszláv partnerek eleve gyanakvóak a Trianon revíziójára törekvő ma-

gyar kormányzattal szemben, és hajlamosak a még primitív távközlési technika gyarlóságait összekötő vonalaik célzatos zavarásának tekinteni. Az éles diplomáciai jegyzékváltások hullámmása a laboratórium vezetéséig is elgyűrűzik. A postamérnökökre szignált feladat teljesítése sürgős kötelezettség: javítani kell a Magyarországot átszelő telefonkábelek mentén a beszédérthetőséget. A probléma megoldására ösztökéltek mindegyike a diplomáciai aspektusra hivatkozik visszaemlékezéseiben. Valószínű azonban, hogy az átmenő forgalomból származó nem jelentéktelen devizabevétel épp úgy sarkallta a magyar kormányt a nemzetközi

hírlánc karbantartására, mint szomszédainak bosszankodása. A jó minőségű hangátvitel azonban még megoldatlan kérdés, és a Postakísérleti Állomás benjaminja először kap lehetőséget oroszlámkörmeinek kimeresztésére.

Mindenekelőtt azt a megoldást próbálja ki, ami a jövő útja lesz: elektroncsöves erősítőt szerkeszt. Az elektronika azonban még gyermekcipőben jár, és a készülék gyakori begerjedése megghiúsítja a jelerősítő módszerének alkalmazását. A gyenge fizikumú, ám tudományos munkában fáradhatatlan Békésy kitartó szívóssággal dolgozik a probléma megoldásán. Nappalait a laboratóriumban, éjszakáit a

kábelaknában tölti, figyelve Prága és Belgrád átmenőbeszélgetéseit. Alkalmaz továbbá egy kísérleti médiumot. Engedélyt szerez hírlapíró barátjának arra, hogy éjszákanként 2—3 órán át díjmentesen használhassa a nemzetközi vonalakat. Míg a fényes rézereken Bécs, Prága, Róma és Belgrád felé suhannak a hangképek elektromos jelei, Békésy mér és észlel.

A telefonközpontok ekkor még kézikapcsolásúak, és a kezelő a vonalba egy kar átbillentésével lép be. A hálózatban való megjelenését egy éles kattanas jelzi. Békésy a prágai vonalat bemérve megfigyeli, hogy a kattanas hangszíne szoros összefüggésben van a vona-

lon folytatott beszélgetés akusztikai jóságával. A kitűnő hallású fizikus rövidesen oly nagy gyakorlatra tesz szert, hogy a kattánások jellegéből azonnal minősíteni tudja a telefonvonalak állapotát. Kifejleszt egy vizsgálati módszert, mely a telefonvonalak hosszadalmas bemérését lényegesen lerövidíti. A régi eljárással történő mérésnél a vizsgált szakasz másik végállomásán zárták az áramkört, és ezen a vezetékfurkon színuszos tisztahangot bocsátottak keresztül. A vonal állapotára a kimenő és a visszatérő jel alakjának összehasonlításából következtek. A mérés 30-40 percet vett igénybe. Békésy mindössze egyetlen rövid áramlökést

engedett át a vezetékhurkon. Mivel a Fourier-elemzés ismert eredménye szerint egy ilyen impulzus végtelen sok folytonos tisztahang összegeként állítható elő, ezek között a hagyományos eljárás mérőfrekvenciájának is szerepelnie kell. A fiatal fizikus szellemes módszere viszont lehetőséget nyújtott arra, hogy fél óra helyett másodpercek alatt határozzák meg a szükséges távközlési paramétereket. A betegskedő telefonvonalakat gyors beavatkozással így rövid idő alatt normális jelátvitelre kényszeríthették.

Jellemző Békésy végtelenül szerény természetére, hogy első, műszaki jellegű felfedezését sohasem

publikálta. Egy fizikai elv ötletes alkalmazását még nem minősítette olyan szellemi teljesítménynek, mellyel a tudományos közvélemény elé léphetne. Egyelőre könyvekben és folyóiratokban búvárkodik. Megtalálja azt a területet, mely véglegesen leköti majd érdeklődését: ám mindenekelőtt azt kell tudnia, hogy a fizikai és fiziológiai kutatás meddig jutott az emberi hallás természetének vizsgálatában. Mielőtt még érdemi és alapvetőnek bizonyuló kísérleteit megkezdene, egy berlini tanulmányút közjátéka iktatódik be.

A Siemens—Halske konszern távközlési laboratóriuma egy évre szerződteti a magyar fizikust. A

méltán hírneves világceg kiválóan felszerelt kutatóintézeteket finanszíroz. Korszerű berendezések és szakmájukat szinte aszketikus életvitellel művelő kutatók körében ismeri meg a német tudomány eredményességének egyik titkát. A laboratórium alkalmazottai korán reggel érkeznek, és a műszereik mellől csak alkonyatkor távoznak el. Az igazgatót, dr. Küpfmüllert nem beosztása, hanem éles, világos, a problémát a lényegre egyszerűsítő gondolkodása teszi a laboratórium vezérlő szellemévé. Fáradhatatlansága is példamutató: a kutatási eredményeket összegző és a további célokat kitűző megbeszélések után átdolgozza az éjszakát,

és másnap reggel már szétosztja munkatársai között a rögzített elvek gépelt summázatát. A berlini évre Békésy így emlékezik: „Németországban megtanultam komolyan dolgozni, és azt, hogy a munka öröm.”

Bár lehetősége volna a berlini tartózkodás meghosszabbítására, 1926-ban mégis hazatér. Döntésében közrejátszik némileg hipochonder természete: attól tart, hogy a nedves észak-német éghajlat a tüdőbaj csíráit ülteti el gyenge szervezetében.

Érdekes azonban, hogy idehaza, amikor majd egyre jobban beleássa magát a halláskutatásba, és valóban túlfeszített munkatempó-

val dolgozik, egyszeriben szertefoszlanak a tébécével kapcsolatos aggodalmai. Pedig a korabeli Magyarország lehangoló egészségügyi statisztikái szerint a Kochbacilus sokkal ambiciózusabban munkálkodik nálunk, mint felfedezőjének hazájában.

Örvendetes változás fogadja: a Postakísérleti Állomás felszereltsége sokat javult az eltelt év alatt. Az intézmény igazgatóihoz, Paskay Bernáthoz és az őt váltó Marschalkóhoz Békésyt nem fűzi különösebb rokonszenv. Vezetői erényeiket azonban négy évtized távolából is méltányolja, mikor már van alkalma összehasonlítani irányítási stílusukat nagy amerikai

egyetemek igazgatási rendszerével. A magyar tudománypolitika elfeledett halottainak tartozunk annak rögzítésével, hogy a Nobel-díjas tudós jobbnak minősíti irányítási módszereiket a Harvard egyetem már alaposan megismert gyakorlatánál. A laboratórium anyagi támogatása ugyan korlátozott, de olyan keret, melyre évente biztosan számíthatnak. Ez nem kis dolog, ha arra gondolunk, milyen nehéz évek ezek az államháztartás számára. A kutatóknak nem kell papírosháborút vívniuk a bürokráciával szerény kereteik kicsikarásáért, azokkal önállóan gazdálkodnak. Az Állomás 9-től 2-ig veszi igénybe szellemi kapa-

citásukat; a fennmaradó időben saját kutatásaikra használhatják a laboratórium berendezéseit. A nagyvonalú vezetés jobban ösztönzi a kutatóállomás kreatív szellemeit, mint a kötelességeket akkurátusan kiporciózó irányítás. Az alig 100 főt foglalkoztató kis intézetben kollegiális kapcsolat alakul ki a szakemberek között, továbbá a három fő kutatási irányt művelő kábel, vegyi és távközlési osztály viszonya is fesztelenül közvetlen. Az embereknek van idejük és türelmük egymás problémáinak meghallgatására, átgondolására. Az intézet műszaki ütőképességét jól szemlélteti, hogy a telefonvonalak jel-zaj viszonyaira

kialakított, DIN 5045 nemzetközi szabvány bevezetésénél a Bell-laboratórium és a Postakísérleti Állomás méréseit veszik alapul.

1925-ben a laboratórium kutatói foglalkozni kezdtek a telefonhang-átvitel további javításának kérdésével. Megvizsgálták akusztikai teljesítőképesség szempontjából a közvetítőlánc egyes szemeit: a kábelt, a mikrofont, a telefonhallgatót és nem utolsósorban az emberi fület. Békésy első mérései a fül dobhártyája és a telefonmembrán jel-lecsengési viszonyaira vonatkoztak. A lánc leggyengébb szemének a mikrofon bizonyult. Mindebből logikusan az következne, hogy Békésynek ké-

pességeit a mikrofon tökéletesítésére kellett volna koncentrálnia. Az összehasonlító mérés azonban felébreszti érdeklődését a hallás természete iránt. A középfül elemeivel és működési sajátosságai-
val, majd a belső füllel kezd foglalkozni. Érdeklődése az anatómia és a fiziológia irányába tolódik el. A területnek, amit művelni kezd, még neve sincsen. Mai tudományrendszerező elveink szerint azt mondanánk: kutatásaival a biofizika egyik úttörőjének bizonyult.

Értékes méréseket csak az élő ember érzékszervéhez hasonlóan működő anatómiai preparátumokon végezhetett. E szükségszerűség vezet el a Békésy-életmű leg-

több anekdotával övezett szakaszához, a fejek történetéhez. A históriák morbid színezetűek; és nem szeretnénk, ha bárki arra következtetne, hogy ez a csendes tudós nem tisztelte az embert holtában is megillető méltóságot. Arról van inkább szó; foglalkozása oly meghökkentően távol esik a kiválasztott témától, hogy a korának tudományos kategóriáiban gondolkozók nem értik, miért kíván egy fizikus olyan területen kotnyeleskedni, ahol még az orvostudomány is alig jutott túl a morfológiai leíráson. Emiatt az egyébként nem teljesen indokolatlan értetlenség miatt kényszerül furcsa vargabetűkre, és útjai időnként a

tárgyhoz méltatlanul komikus szituációkba torkollanak.

Azt maga Békésy mondja el, hogy az anatómiai tanszéket vezető Kiss professzortól végül is kapott egy emberfejet. (Békésy valószínűleg pontatlanul emlékszik, dr. Szentágothai János szerint ekkor dr. Kiss még tanársegéd volt.) A fáradságosan megszerzett bonctani objektummal azonban nem tudott mit kezdeni. A belső fül elhelyezkedését modellről és atlaszból ismerte ugyan, de sejtelve sem volt arról, hogyan fogjon a kiboncolásához. Fülorvos barátai — hivatkozva Semmelweis intő példájára, a műtéti szepszis veszélyére — sorra utasítják el. Végül

talál egy sebészt, aki vállalkozik a csiga feltárására. Ám a kísérlet csúfos kudarccal zárul. A sziklacsontot vésegető sebész növekvő türelmetlenséggel dirigálja a fejet fogó Békésyt. Elégedetlen, mert szerinte az alkalmi boncsegéd a fejet nem természetes helyzetében tartja. A csigát magába foglaló koponyarész kiemelése sikerül ugyan, ám a csontdarab az orvos működése során egyre kisebbé válik, és végül egy forgácshalommá alakul anélkül, hogy a finom spiráljáratokat és a helicotrémát megpillantanák. A kudarcot dohogásával palástoló kirurgus eltávozik, Békésyt a tetthelyen hagyva egy csonthalom és egy fél fej társasá-

gában. A kutató belátja, hogy a csiga feltárásában a saját erejére van utalva. A koponyát vizsgálva úgy véli, hogy a behatolás a hallóideg irányából lesz a legkönnyebb.

Az összecsomagolt maradványokat a Postakísérleti Állomásra szállítja, és öreg svájci mesterétől elsajátított tudását felhasználva, finom fémmegmunkáló eszközökkel fog a másik fül feltárásához. A belső fület lassan, óvatosan bontogató Békésy egy vasárnap délután pillantja meg a csigajáratot és a helicotrémát. A preparátumot sztereoszkopikus mikroszkóp alá helyezi, és egyre növekvő csodálattal vizsgálja a belső fül fel-

táru ló szerkezetét. Az élmény azonban — és ez különös — első-sorban esztétikai és nem tudomá-nyos. A belső fül szépsége ragadja meg: ezért úgy dönt, hogy e gyönyörű műszer működésének kutatásával kíván foglalkozni.

A sziklacsonttól megfosztott fél fejet Békésy ugyanúgy kívánta visszaszállítani az anatómiai tan-székre, ahogyan hozta: öblös tás-kájában. A postakísérleti labora-tórium őre — akinek sejtelve sem volt Békésy titkos boncolásairól, valamiért gyanúsnak találta az Állomás fiatal alkalmazottját és felkérte: nyissa ki a szemmel lát-hatóan dagadó táskát. Hogy a kézitáskából előbukkanó ember-

fej látványa miképp sokkolta a lelkiismeretes portást, annak leírására a szűkszavú Békésy nem vállalkozott. A hatásra azonban következtethetünk abból, hogyan fogadta az este 9-kor visszatérő fizikust, aki ezúttal néhány narkotizált macskát kívánt beszállítani. A különben készséges alkalmazott eltökélten akadályozta meg, hogy a gyanús boszorkánymester és kóválygó állatai a telep területére behatoljanak.

Az első fej felboncolása csak a kutatás kezdetét jelenti. A további vizsgálatok számos fülpreparátumot igényelnek, és azt homályborítja, miként szerzi meg őket. Céloz ugyan az anatómiai intézet

hátsó bejáratára, és igen valószínű, hogy az első időszakban sok ijesztő küllemű vizsgálati anyag érkezett rejtett utakon az laboratóriumba. A kísérletekről egyelőre csak az Állomás alkalmazottainak kis töredéke tud, azok a munkatársak, akik fanyalogva segédkeznek a főnöknek a horrorfilmbe illő kellemek tudományos preparátummá való alakításában. A Budapest utcáin, békés postautók rakterében vándorló emberfejek históriájára fél évszázad múlva már ironizálva gondolnak a visszaemlékezők. 1928 után, mikor Békésy már az akusztika ismert kutatója, nyilván olajozott gépezet gondoskodik laboratóriuma fülpreparátu-

mokkal való ellátásáról. Az életmű egyik legfontosabb elemének tekintett 1928-as publikáció kísérleti alapanyagának szállításában azonban vélhetőleg közreműködtek olyanok is, akik a legcsekélyebb mértékben sem örültek volna, ha a figyelem személyükre terelődik. Az anatómia vagy a kórházi bonctani intézetek kifizetésű alkalmazottai lehettek a névtelen adományozók. Ne kussuk, hogy mecénási hajlamaikat serkentette-e alkalmi baksis. Mindenesetre különös fintora a tudománytörténetnek, hogy a modern halláselmélet megalkotója aligha foghatott volna első méréseihez a titkos donátorok nem egészen tör-

vényes segítsége nélkül. Később egy rendőrtiszt barátja ingerkedve mondta Békésy professzornak, hogy abban az időben gyilkosság alapos gyanújával bármikor le tartóztathatta volna. Tekintve, hogy a nehéz kezdeti szakaszban bizony voltak olyan emberfejek a laboratóriumban, melyek eredetéről kellemetlen lett volna beszélnie, egy feljelentés kapcsán be következhetett volna ez a fordulat is.

Az első megvizsgált sziklacsontr történetét Békésy visszaemlékezései alapján rekonstruáltuk. Az emberi hallásmechanizmus felfedezésének fontos eseménye nyilván az átélő tudatában őrződött meg

a leghitelesebben. A részletekben azonban rejtőzhetnek kisebb pontatlanságok. A legprecízebb kronológiai azonosító, Dr. Szentágothai professzor 1931 őszén, másodéves medikusként került kapcsolatba Békésyvel, és az eseményeket saját egyetemi pályafutásának dátumaihoz tudja kötni. Ez idő tájt már az Igazságügyi Orvostani Intézet látja el a Postakísérleti laboratóriumot kimetszett sziklacsontokkal. Békésy kétségkívül felkeresi évente 2-3 ízben az Anatómiai Intézetet és Dr. Szentágothait; elsősorban szakmai kérdések megvitatása céljából. A preparátumok alapanyaga azonban a rendőrorvosok bonc-

kése alól kerül ki. Ez logikusabb is, hiszen friss kadáver-képleteket az anatómiától ritkábban kaphattott volna.

A pálya első buktatóin sikerrel túljutó Békésy 1928-ban a *Physikalische Zeitschrift*ben közli első jelentős publikációját, amit a következő években további cikkek követnek. Már meglepő az első közlemény is. Miként a Zeus fejéből kipattanó Pallas Athéné is viseli teljes fegyverzetét, Békésy már ekkor birtokában van számos alapvető eredménynek és sejtésnek. Ezek továbbfejlesztése és finomítása évtizedeket kitöltő program. A cikk minden olvasója számára világossá válik, hogy a Helmholtz-

féle hipotézis helyébe a működő
fül megfigyelésén nyugvó, lénye-
gesen megalapozottabb hallásemé-
letnek kell lépnie.

A közölt kísérletek még nem
adtak választ számos lényeges kér-
désre, de az ismertetett metodika
a kutatás új útjait nyitotta meg.

A cikkekre az európai szakmai
közvélemény hamar reagál. Sorra
érkeznek a hosszabb-rövidebb idő-
re szóló meghívások. Közülük az
Uppsalában oktató Bárány Ró-
bert professzor felkérése külö-
nösen megtisztelő. Az ajánlatot
két ok miatt hárítja el. Egyrészt
visszatérnek a tébécével kapcso-
latos aggodalmai; úgy véli, a borús
skandináv égbolt fenyegetné az

egészségét. Másrészt egy diplomata barátja útján tájékozódik az uppsalai laboratórium felszereltségét illetően. Figyelemre méltó, hogy a szakkérdésekben járatlan követési alkalmazott leírásából is kétségtelenül meg tudja állapítani: a Postakísérleti Állomás műszerparkja jobb feltételeket nyújt kísérletek folytatásához a rangos skandináv egyetem laboratóriumánál. 1931-ben, 32 éves korában elnyeri az első jelentős nemzetközi elismerést, a Német Fülorvosi Társaság Denker-díját.

A külföldi tudományos hírnevet csak valamelyes elmaradással követi a hazai méltánylás. 1933-ban magántanárává fogadja a Páz-

mány Péter Tudományegyetem. Egyidejűleg a Postakísérleti Állomás egy fizetési fokozattal való feljebbsorolásra érdekmesíti. (Mindaddig ugyanis az Állomás legalacsonyabb bérű diplomása volt.) A véletlen egybeesés elindít egy váratlan folyamatot. Magához kéri őt a Posta vezérigazgatója. Békésy megrémül: a másodrendű alkalmazott számára mind ez ideig láthatatlan nagyúrbán a lángpallosú angyalt véli megpillantani, aki őt, a mérnöki diploma nélkül betolakodó bölcsészdoktort kiűzi műszerei és fülkészítményei meghitt paradicsomából. A szituációt még hosszan kétségessé teszi, hogy a Vezér is zavartnak látszik, és

nem rukkol ki mondandójával. A szorongó akusztikus csak annyit kér, hogy megmaradhasson eddigi helyén, és folytathassa kísérleteit.

Végül magára talál a Postaszolgálat feje, és tisztázódik a helyzet. Valószínűleg egy figyelmes titkár-nő helyezhette a vezérigazgató asztalára a két helyen bejelölt hivatalos közlönyt. A Postakísérleti Állomás egy alacsony rangú alkalmazottjának a bérén valamicskét igazítottak, és az illető egyidejűleg kiérdemelt egy magas tudományos fokozatot. A szemet szűrő kontraszt felkeltette az igazgató érdeklődését, és személyesen kívánta látni a csodabogarat. Azt, hogy a beszélgetés során mily mértékben

értette meg a világ majdani egyetlen Nobel-díjas postásának tudományos terveit, nem tudjuk. Kétségtelen azonban, hogy Békésyt rövidesen postamérnökke nevezik ki, ami az Állomás kutatógárdájának teljes jogú tagjává való avasztását jelenti. Valamint azt is elmondja emlékirataiban, hogy a beszélgetést követően kutatásaihoz elegendő segéderőt és minden támogatást megkapott.

A 30-as évek elején megalakuló kutatócsoport az épület alagsorában tevékenykedik. Törzse dr. Jancsár Józsefnéből, dr. Nagy Dezsőből, Krenkó Béla műszerészből és egy Mária keresztnévű munkatársnőből áll. A különleges szak-

értelmet kívánó eszközök összeállításánál azonban alkalmanként mások is besegítenek. Békésy a csigalépcsőn megközelíthető torony legfelső emeletén kapott szobát; itt töpreng peripatetizáló módszerrel kísérletei továbbfinomításán.

A dobhártyán, a hallócsontlancolat elemein végrehajtott méréseket követően továbbhalad a már megpillantott belső fül mozgásainak vizsgálata felé. Hogy a nehezen hozzáférhető csigajárat hidraulikai folyamatait megfigyelhetővé tegye, olyan modellt szerkeszt, melyen a belső fülben lejátszódó folyamatok mintegy felnagyítva szemlélhetők, fényképezhetők. A fül Békésy-féle modellje egy tég-

lalap alakú rézkeret, melynek első és hátsó falát üveglap helyettesíti, tehát átvilágítható. A belső teret gumimembrán osztja ketté, ez felel meg a csiga alaphártyájának. A membrán végénél kiképezték a helicotrémának megfelelő nyílást is. A rézidom üregét a csigában elhelyezkedő perilymphához hasonló sűrűségű és viszkozitású folyadékkal töltik fel. Az alkalmasan rezgésbe hozott folyadékban haladó hullámok figyelhetők meg, melyek a gumimembrán mentén a helicotréma felé nyomulnak. A modellen észlelhető egy örvénypár is, melynek jelentkezési helye a gumimembrán mentén eltolódik, attól függően, milyen nagy

a gerjesztő rezgés frekvenciája. A modellen megfigyelt jelenségből természetesen csak akkor szabad a hallás természetére vonatkozó következtetéseket levonni, ha az emberi fül belsejében is keletkeznek hasonló rezgések. A csiga belsejét úgy tette megfigyelhetővé, hogy a felső végét lecsiszolta, és a keletkezett nyílásra fogászati cementtel üveglapocskát ragasztott. Így bepillantást nyert a felső ívjáratba. Ugyanezt elvégezte a csiga alsó végén is. A fülpreparátumon végzett észlelések során újólág megfigyelhette a modellen lejátszódó folyamatokat.

A hallás természetét illető vizsgálatain kívül foglalkozik a terem-

akusztika kérdéseivel is. Ebből a tárgykörből tart előadást 1934-ben, a Moszkvában megszervezett szovjet akusztikai konferencián. A moszkvai kutatóintézetben maga az igazgató, Andrejev professzor kíséri végig vendégét a laboratóriumokon. Alkalma van tapasztalni azt is, hogy partnerei igen alaposan ismerik irodalmi munkásságát. Ugyanebben az évben a távközlési berendezések gyártásával is foglalkozó Philips Művek Eindhovenbe hívják meg. A pazarul felszerelt laboratórium lehetőségeinek csillogtatásával vélhetőleg szívesen kötnék Hollandiához házigazdái. Békésy azonban nem jön kísértésbe. Arra a

következtetésre jut, hogy inkább dolgozik otthoni berendezéseivel, olyan megoldásokat keresve, melyek lehetővé teszik az akusztikai folyamatok egyszerűbb eszközökkel való vizsgálatát.

A Heinrich Hertz Társaság felkéri, hogy tartson előadást a belső fülről Berlinben. A svéd fülorvosi társaság 1938-ban Stockholmba hívja meg. A két fővárosban tartott előadások szövege megjelenik a szakfolyóiratokban, és kutatásainak eredményeiről igen sokan szereznek tudomást. A meghívásokat viszontlátogatások követik, és a Postakísérleti Állomást egyre gyakrabban keresik fel olyan külföldi kollégák, akik Békésy al-

kotóműhelyében szeretnének szellemi impulzust nyerni az új metodikájú kutatások megindításához.

A már Európa-szerte számon tartott akusztikai laboratórium eredményei az Óceánon túl is felkeltik a szakkörök érdeklődését. Amikor 1936-ban S. S. Stevens és H. Davis egy új hallástani könyv megírásához gyűjtenek anyagot, szükségesnek látják, hogy személyesen is megismerkedjenek az új fülmodell megalkotójával. Stevensnek és Newman nevű kollégájának látogatása Békésy életútjának következő szakaszát döntően befolyásolta. Az amerikaiak 1937 nyarán érkeznek Budapestre, villamoson kocsikáznak a végálla-

másig, és „egy széles, poros úton” végigsétálva eléri a Gyáli úti kutatóállomást. Elképzelhető, hogy esetükben is bekövetkezik az a gyakori félreértés, amire csendes derűvel gondolnak vissza fél évszázad távolából is az emlékezők. A jó kiállítású Krenkó műszerész sokat adott a külsejére, és naponta friss fehér köpenyben jelent meg munkahelyén. Békésy viszont általában egy kopott, homokszínű öltönyt viselt; szokásain még akkor sem változtatva, ha jeles külföldiek érkezését várta. A tudós vendégek viszont nem mindig rendelkeztek Jeanne d’Arc csatláthatatlan biztonságával, mellyel chinoni látogatása alkalmával ki-

emelte rejtekéből a fényes nagyurak árnyékában megbúvó, viselkedésű királyt. Így Krenkó sokszor kényszerül arra, hogy kétségbeesett szabadkozással térítse helyes medrébe a protokollt, mikor a fehér ornátustól megtévesztett külföldiek benne vélik felismerni a csoport szellemi centrumát.

Az amerikaiak úgy érzik, Békésy „óvatos szívélyességgel” fogadja őket. A németül jól beszélő Newman azonban rögtön szakkérdésekre tér, és a társalgás teljesen fesztelenné válik. Két nap telik el akusztikai problémák megvitatásával és a laboratórium eszközeinek megtekintésével. Szombat következik, és a házigazda budai

kirándulásra invitálja vendégeit. Utolsó békés éveit éli a világ, és a szép napot egy pesti vendéglőben befejező kis társaság még nem sejti, hogy a tudomány hullámhosszán oly könnyedén találkozó népeket majd hosszú időre elszakítja egymástól a legvéresebb háború.

A magyar tudós nemzetközi respektusának tárgyilagos értékmérői a rangos külföldi tudományos társaságok, egyetemek által adományozott kitüntetések. 1937-ben a berlini Tudományos Akadémia a Leibnitz-éremmel tünteti ki. Két év múlva a Groningeni Egyetem a Guyot-díjjal jutalmazza. A díj birtokosát egy nagy aranyéremmel is megajándékoz-

zák. A szokásos utasforgalomban kétségkívül ritkán előforduló tárgy látása oly primitív reakciót vált ki a poggyászat átnéző magyar vám-tisztviselőkből, hogy emiatt még emlékirataiban is méltatlankodik. A kincstári érdek jeles őrei arról kívánnak megbizonyosodni, szín-arany-e a nagy plakett, és kétségüket tisztázandó, a magas tudományos kitüntetésen mély karcolást ejtenek.

1939-ben Tangl professzor elhunyt. Mind Ortway Rudolfnak, mind Rybár Istvánnak az a véleménye, hogy a megüresedett tanári státus betöltésére kizárólag Békésy György érdemes. Bár akadnak más nézetek, a mérleget

végül is a tudományos teljesítmény súlya nyomja le, és 1940-ben elnyeri a Gyakorlati Fizikai Tanszéket. A következő évek sok változást hoznak, és életének egy intenzív, gazdag szakasza következik.

Új beosztását elfoglalva nem adja fel a Postakísérleti Állomáson betöltött helyét sem. Így kutatásait két laboratóriumban folytatja; sőt bizonyos vizsgálatokat egy harmadik helyen végeztet el. Mindezen túlmenően új, szokatlan feladatot jelent számára az oktatás. Ez az a terület, ahol kevésbé lesz sikeres, mint a tudomány vagy az amatőr módon űzött művészettörténet szférájában.

Békésy tanári munkájának minősítésénél jelentős eltérés mutatkozik belső értékítélete és a külső szemlélők megállapításai között. Saját visszaemlékezései szerint igen eredményesen látott hozzá az egyetemi oktatás új tartalommal való telítéséhez. Módszerének lényege a kísérletezés útján történő oktatás volt. A tanszék kiírta azoknak a kísérleteknek a felsorolását, melyeket a hallgatóknak elvégzésre javasoltak. A hallgató kiválasztott közülük egyet, és a továbbiakban már az ő feladata volt, hogy részben a laboratórium kész műszereiből, részben a műhelyben saját maga által készített elemekből összeállítsa a berendezést és

elvégezze a kísérletet. Így haladt témakörről-témakörre a képzés, nagymértékben alapozva a hallgatók önálló munkájára. Emlékiratai szerint a „nyitott laboratórium” módszere kitűnően funkcionált, és ebben az is közrejátszott, hogy a magasabb évfolyamra járók segítettek a kísérletezést csak most megkezdő elsőéveseknek. A korábban zárva tartott tanzéki könyvtárat is szabadon használhatták a hallgatók, kizárólag az általuk megválasztott könyvtáros felügyelete alatt. Ez az oktatási mód oly hatékonynak bizonyult — írja —, hogy egyes végzett hallgatók engedélyt kértek arra, hogy a laboratóriumban to-

vább is kísérletezhessenek. Egyesek — nevezetesen a kar dékánya — rosszállóan figyelték a hallgatók kezelésére bízott laboratórium és könyvtár pillérein nyugvó oktatást, ám az univerzitás vagyona nem károsodott, mert a hallgatók éberén figyelték, ki mit kölcsönöz ki a mindenki számára oly becses könyvekből. Ilyennek látta Békésy az érem egyik oldalát.

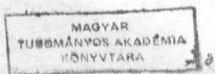
E pedagógiai credo jól megvilágítja szemléletének egy lényeges vonását: hisz az emberek ellenőrzésre nem szoruló becsületességében. Ezért a mindenkinek meghitelezett, nemes jóhiszeműségért valószínűleg sok ízben kellett keserű csalódással fizetnie, és

ez odavezet majd, hogy öregkorában hajlamossá válik a világ fekete-fehér kontrasztokban való látására. Másrészt ha visszaemlékeziünk svájci egyetemi éveire („minden tudás a könyvekben és nem a professzorok fejében van”), észrevesz-
szük, hogy ez az oktatási forma feltűnően a Békésy formátumú fiatalemberek szellemi alkatára szabott öltözék. Kétséges viszont, hogy magas koncentrációban voltak-e az 1940–46-os évek bölcsészei között az olyan képességű hallgatók, akik hatékonyan tudtak élni az önállóság ilyen magas fokával.

Az érem másik oldalára önmaga is rávilágít, de nem emlékiratai-

ban. Dr. Passuthné jól emlékszik, hogy odahaza, a Fő utcai családi otthonban sokszor fakadt ki a fizikai ismeretek elsajátításától eltökélten elzárkózó orvostanhallgatók ellen. Nyilvánvaló, hogy a medikusok fél évszázada sem rajongtak a nékik periferiálisnak tűnő tárgyért; azonban itt másról lehet szó. A nem fizikus beállítottságú fiatalemberek nem tudtak zöld ágra vergődni Békésy professzor önálló kutatókészséget igénylő módszereivel. A tanári pálya egyébként emberi alkatához sem esik közel. Nehezen létesít kontaktust az emberekkel, és meglehetősen zárkózott természetű. Már több mint két évtizedet tölt

a Postakísérletinél, szorosabb baráti kapcsolatot nem alakít ki munkatársaival. Halden Elemér gépészmérnökön kívül talán senki-vel sem tegeződik. Magányos embernek minősíti őt Floyd Ratliff is, aki a New York-i Rockefeller Egyetemen aránylag szorosabb kapcsolatot tartott fenn vele az 1950–60-as évek folyamán. Nehezen képzelhető el, hogy ilyen alkatú ember számára természetes önmegvalósítási formát nyújtson a tanári hivatás. Kétségkívül, saját maga beszámol olyan esetekről, amikor tanítványai egyikének-másikának egy sikerélmény felvillanásával sikerült perspektívát nyitnia. Ezek az emlékek bizonyára



tényleg megtörtént eseményekből táplálkoznak; de tanári pályájának azokat a ritka perceit mutatják meg, mikor magasrendű szellemi ráhatása nem hétköznapi tehetségről reflektálódott. Az ilyen találkozások viszont nem lehettek túl gyakoriak. Dr. Tarnóczy Tamás, az MTA Akusztikai Kutatóintézetének tudományos igazgatója közöl egy figyelemre méltó adatot: professzori működésének hét éve alatt mindössze egy doktorandus jelentkezett nála szigorlatra.

Tanári tevékenységének megítélésénél dr. Tarnóczy professzor véleményét tekinthetjük mértékadónak. Békésy előadásai nem az átlagos hallgatóhoz szóltak, aki

a tankönyvben leírtak elmagyarázását várta professzorától. Ezt a tudást feltételezte, így ismertetését mellőzte is. Előadásaiban a fizikai tények közötti mélyebb, belső összefüggések bemutatására törekedett. Széles tudása klaviatúrájából hatalmas futamokat csalt elő, és szelleme fényes sziporkákat vetett. Ez azonban nem hétköznapi szemeknek élvezhető tűzijáték.

Úgy gondoljuk, dr. Békésy György nagyságából mit sem von le, ha pedagógiai munkásságát tárgyilagosan értékeljük. Szellemi habitusa tudományos értékek megalkotására és nem kisugárzására predesztinálta. Az első területen az emberiség legnagyobbjai

közé emelkedett; ne kérjük számon, mit mulasztott a másikon. Elmerenghetünk viszont az önismeret különös paradoxonán. A jeles felfedezőről gyakran beszélnek a legmagasabb fokú elismerés hangján méltatói; maga viszont végtelen szerénységgel ír tudományos munkásságáról. Vívódásait, belső kételyeit őszintén feltáró magánlevelezéséből kitűnik, hogy még a világhírnév tetőpontjára feljutott Békésyből is teljes mértékben hiányzik önértékének tudata. Tanári tevékenységét viszont olyan megalégedettséggel szemléli, amelyben sajnos oktatásának alanyai nem minden esetben osztoznak. Gondoljunk vi-

szont arra: a Nap hiteles képéhez a foltok is hozzátartoznak.

Eredményekben gazdag élet-szakasz kezdetét kötöttük az 1940-es évhez; az eddig elmondottak viszont még nem igazolják ezt a megállapítást. Ám az egyetemi katedra elfoglalása nem csökkenti a laboratóriumban kifejtett aktivitását, és változatlan bőséggel jelennek meg publikációi. A világpolitikai égbolt eközben egyre sötétül, és a háborúba belép Magyarország is. A háborús erőfeszítés pedig — így van ez minden országban — mozgósítja a tudományos kapacitást. A tekintélyes tudóst is megkísérlik katonai jellegű kutatásokba bevonni. Az

akusztikán belül ez a szakterület sajátosságai miatt alig képzelhető el, ám a honvédségi megbízásokból ezúttal hasznot fog húzni a tiszta tudomány. A posta légoltalmi riasztási rendszerének megszervezésekor felkeresi őt régi ismerőse, Halden Elemér gépészmérnök, az Operaház kölcsönvett triangulumának társaságában. Egy olyan akusztikai riasztóberendezést szeretne terveztetni vele, amely üzembiztosabb a szirénánál. A professzor azonban elzárkózik: az ő szakterülete a hangfelfogás szerveinek és nem a hangadás eszközeinek vizsgálata.

A katonai megbízások során kerül munkakapcsolatba Dr. Halm

Tibor repülőorvossal. Békésynek alkalma nyílik arra, hogy a közép- és belső fül működését a normálistól eltérő nyomásviszonyok között tanulmányozza.

Merényi-Scholz Gusztáv alezre-des, a Repülőorvostani Intézet vezetője megbízza Békésyt az alacsony nyomás alá került szervezet fiziológiai reakcióinak vizsgálatával. A kutatások kezdetén a kísérleti alany egy maszkon át palackból kapja a 4—8000 méteres magasság nyomásviszonyainak megfelelő nitrogén-oxigén keveréket. A saját tervezésű berendezés üzembiztonságát önmagán próbálja ki, majd tanársegéde, dr. Cornides István következik. Asszisztense

fuldoklani kezd az alacsony nyomáson, így a maszkot letépve Békés félbeszakítja a kísérletet. Mint kiderült, nem a berendezés hibásodott meg, hanem az oxigénpalack csapjának véletlen elfordítása idézte elő a balesetet. A magaslégköri szimulátor a továbbiakban kifogástalanul működött. A vizsgálati alanyok szakaszkötelékben érkező katonák voltak.

1940–1942 között több ízben repül egy Bücker iskolagép utasaként, szubjektív megfigyeléseket végezve önmagán. Az objektív méréseket a repülőorvosi intézet nyomáscsökkentő fülkéjében hajtja végre. A zárt kabinból gépezet szivattyúzza ki a levegőt, és tet-

szés szerint beállíthatók a 0—6000 méter közötti tengerszint feletti magasság barometrikus viszonyai. A fülkébe Békésy maga ül be — időnként dr. Halm társaságában — és önműködő audiométerével különböző nyomásértékeknél veszi fel saját hallásgörbéit. A nyomást két ízben csökkentik igen csekély, 6000 m-es magasságnak megfelelő értékre. Ez jóval alacsonyabb annál a szintnél, ami repülőgépen oxigénmaszk vagy túlnyomásos fülke nélkül elviselhető. A mindössze 350 higany-milliméternyi (45 000 pascal) nyomás megteszi a magáét; az egyik kísérlet közben Békési elveszti az eszméletét. Az eset jellemző. A

professzor aggályos gonddal óvja alveolusait a nedves északi lég mi-
azmáitól, de nem fiatal asszisz-
tenseit, vagy a robusztus testi fel-
építésű dr. Halmot küldi a kísér-
leti fülkébe. A minden szívóssága
ellenére is törékeny alkatú tudós
önmagán figyeli meg az akusztika-
i jelenségek változásait; túl-
menve azon a veszélyes határon is,
melynél bármikor áttörheti a tü-
dőerek leheletvékony falát a több
mint fél atmoszférányi túlnyo-
mással keringő vér.

A különös magatartás indítéka
lehetne egyéniségének egyik alap-
vonása, mélységes humánuma.
Anélkül, hogy ennek a szép jellem-
tulajdonságnak a döntésből való

részesedését kizárnánk, sokkal valószínűbb, hogy Békésyt elsősorban tudományos érdeklődés készíteti a veszélyes kísérletek végigcsinálására. Egy olyan momentumhoz érkeztünk, mely emberi magatartásának a legjellemzőbb vonása: olthatatlan kíváncsiságot érez a vizsgált jelenséget vallató kísérletek eredménye iránt. A gondosan megtervezett, tökéletesen összeállított, türelmesen végrehajtott kísérlet a nagy biofizikus életművének elemi építőköve. A kísérletezés életéből fél évszázadot kitöltő program. Betegen, testileg elesetten, időnként reménytelenül csüggedt lélekkel élete utolsó hónapjaiban is új és új kísérleteket

konstruál a makacsul szűkszavú természet félmondatnyi válaszáinak kicsikarására. Minden kétséget kizáróan: a magyar föld hozzá hasonlóan kitartó, szellemesen találékony, és eredményes kísérleti fizikust igen keveset szült még.

Az 1940-es évek elején váratlan esemény segíti Békésyt egy olyan fülpreparátumhoz, mely a szűkösen dotált magyar kutatóintézetben aligha lenne beszerezhető. A Beketoff cirkusz egyik elefántja kiszenvedett, és az igazgatás egy nobilis gesztussal lehetővé tette, hogy a derék ormányos hozzájáruljon holtában a tudományos haladáshoz. A boncolási engedélyt megszerezve kiküldte az Állomás-

ról asszisztenseit a megfelelő koponyarészlet kifűrészelésére. Ám a famulusok nem voltak kellően jártasak az elefántanatómiában; és a fáradságos munkával kivésett csontdarab nem tartalmazta a belső fület. Még szerencse, hogy a gyakorlatlan bűvészinások oly alaposan mellétrafáltak, hogy az értékes anatómiai elemeket nem sértették meg. A professzor így maga kényszerült kiszállni a helyszínre, és sikerült a ritka objektumot megszereznie. Az elefánt hallószerve, az emberét messze meghaladó méretű csigájával, nagymértékben alkalmas volt arra, hogy rajta az alaphártya mentén kialakuló rezgésmaximum jelentkezését kimu-

tassák. Az élővilág legnagyobb méretű csigájában is úgy tolódik el a maximum helye, ahogyan azt Békésy fülmodelljén és emberi preparátumain megfigyelte.

A háborús évek során Békésy vizsgálatokat folytat az ultrahang fókuszálhatóságára és terjedési viszonyaira vonatkozóan. A dolog előzménye az, hogy környezetének valamelyik tagja elhiteti a kormányzóval: az ultrahang alkalmas „halálsugár” előállítására. Békésy sokkal jobb fizikus volt annál, hogy előre át ne látta volna a naiv indíttatású kísérletek teljes reménytelenségét. A Legfelsőbb Hely azonban ragaszkodott elképzeléséhez, és Halmos tábornok, a Hadi-

technikai Intézet parancsnoka személyesen kereste fel Békésyt. „Uram, csinálunk valamit, aminek semmi értelme sincsen” — jegyzi meg Cornidesnek a professzor a vendég távozása után, és megkezdik a kísérleteket.

A hangforrásként használt Galton-síp néhány tizedwatt energiája egyelőre még alig fenyegette a dübörgő angolszász légierőket, a rosszindulatú szerszám azonban 16 000 Hz alatt is sugárzott, részben a hallható tartományban. A kellemetlen, fütyülő, magas hangok felkeltették a szomszédos bölcsészkar tanszékek ellenszenvét a parabolatükrökkel szemben; ugyanis a szabadtéri vizsgálatok

az egyetem kertjében folytak le. A kísérleteket délutánra kellett használni, ám természetesen tudományos érdekű megfigyeléseken kívül semmi olyat nem eredményeztek, ami a „magyar csodafegyver”-re várók illúzióinak megfelelt volna. A megbízás egyetlen konkrét eredményének tekinthető, hogy a mecénás Haditechnikai Intézet jóvoltából jelentősen gazdagodott a tanszék műszerparkja. „Jobb, ha ideadják a pénzt, mintha géppuskára költik” — jegyzi meg igen gyakorlatiasan a Gyakorlati Fizikai Intézet vezetője a félresikerült kutatás sírbeszédeként.

A második magyar hadsereg frontjának felgöngyölítése rádöb-

bentette a közvéleményt arra, hogy a mindeddig csak haditudósításokból ismert háború százezrek életébe véresen belegázoló realitás. A következő csapás 1944. március 19-ét követően éri az országot. A német megszállás bekövetkezése után az itáliai támaszpontokról felszálló brit és amerikai stratégiai légierő hozzáfog az ország ipari és közlekedési gócpontjainak módszeres szétrombolásához. A légi-erők 800—1000 géppel végrehajtott támadásai az úgynevezett szőnyegbombázás módszerével törlik el a föld színéről a kiszemelt céltárgyat. Egy ilyen kvadratikus bombazápor széle lefedi a Gyáli út egy részét, és súlyos találatok érik

az Állomás közvetlen szomszédságában levő Posta Járműjavítót. Hét alkalmazott vesztí életét a támadás következtében, és a robbanások megrongálják a laboratóriumot is. Az eseményt követően a laboratórium egy részét a Hűvösvölgybe telepítik ki. Békésy ír ugyan arról, hogy az óvóhelyről előbújó kutatók milyen hősies erőfeszítéssel kísérik meg folytatni tevékenységüket, ennek ellenére az 1944-es évben érdemi munkáról aligha lehetett szó. Budapestnek az év végén meginduló ostroma pedig elpusztítja az Állomás berendezéséből azt is, amit az angol-szász bombatámadások még épen hagytak.

A háború végkifejlete oda vezet, hogy Békésy professzornak végtére is nem újra megépíthető műszereivel, hanem pusztá élete megmentésével kell törődnie. A Fő utca, melyben laknak, Budán, a Duna-parttal párhuzamosan halad. A 19-es számú ház ötödik emeletén egy volt műteremlakás az otthonuk: keleti fekvésű ablakain egykor szélesen áradt be a folyó hullámos hátáról visszaverődő reggeli napfény. 1945 januárjának fakó fényben derengő napjain a rakparttól alig 100 méterre emelkedő, az alacsonyabb folyóparti házak fölé magasodó épület természetes céltáblája a Duna felett vívott tűzpárbaj kósza lövedékeinek. A jó-

szerencse különös kegyének tekinthető, hogy az egymás tüzelőállásait ádáz dühvel pörölyöző szovjet és német ütegek viadalában a lakást csak egy kiskaliberű lövedék találata éri. A közvetlen szomszédnak, a francia követségnek már nincs ilyen szerencséje. Tetőszerkezete lángra lobban a gyújtólövedékektől, és a szomszéd ház óvóhelyén meghúzódó lakók a csatazaj szünetében a 17-es számú épületben elharapódzó tűzvész ropogására figyelnek fel. Ekkor olyan esemény következik be, amire senki sem számított. Az általános pánikban egyedül Békésy őrzi meg higgadtságát. A zárkózott, mindig halkán beszélő pro-

fesszor szavai lelket öntenek a meg-
rémült emberekbe. Egyéb oltó-
szerszámok híján vödörláncot szer-
vez. Látja, hogy ilyen primitív esz-
közökkel a kiterjedt tüzet nem le-
het a francia követség területén
megfékeezni. A 19-es számú ház
veszélyeztetett oldalának hatékony
locsolásával azonban a lángok to-
vaterjedését meg tudta akadályoz-
ni. A Lánchíd felé eső telek üres
grundja az ostrom sebhelye; a mel-
lette magasodó házat viszont Bé-
késy professzor energikus szerve-
zőkészsége mentette meg.

A légoltalmi pincében eltöltött
hetek az állandó életveszély tuda-
tán túlmenően egyéb viszontag-
ságokkal is sanyargatják a Fő utca

lakóit. Egy ízben vízbetörés űzi ki azilumukból a pinceodúkbán meglapulókat. Az elgátolás és lecsapolás után visszabújnak rejtekhelyeikre, és az elképzelhetetlenül primitívvé lefokozott lét és nemlét mezsgyéjén tengődve érik meg 1945. február 12-ét, mikor végre távolodni kezd a harci zaj. Az év márciusából dr. Tarnóczy professzor őriz emlékezetében egy pillanatképet: ekkor találkozik az Andrássy (Népköztársaság) úton Békésyvel. A kutató, aki minden bizonnyal az egész világon legtöbbet tud az emberi hallás fiziológiájáról, egy hátizsákkal felszerelve baktat, és a legfőbb gondja az, hogyan szerezzen burgonyát.

Amint a felszabadulást követően kezd visszatérni normális medrébe az élet, a professzor felkeresi az egyetemet, és lassan visszaszállingózó tanítványai segítségével kísérletet tesz az oktatás feltételeinek megteremtésére. Az egyetem felszerelésének nyugatra szállítása előtt a „nyitott laboratórium” bennfentes famulusaival számos műszert és berendezést rejtett el. A megmentett értékeket fokozatosan előbányásszák, és a fizikai tanszék viszonylag jól felműszerezve kezdheti meg a tanítást. Kutatólaboratóriumaiban viszont katasztrofálisan pusztított a háború. A Gyáli úton az ágyútűz semmisítette meg a bombázástól meg-

kímélt maradványokat. A hűvös-
völgyi szükséglaboratórium sem
járt jobban. Az aránylag könny-
nyebben reprodukálható berende-
zések pusztulásánál is érzékenyebb
veszteség, hogy a két évtizednyi
kutatás eredményeit rögzítő érté-
kes feljegyzéseinek jó része elvész.
Az általános romlásból csak utolsó
cikkének kézirata menekül meg.
A becsületes megtaláló egy tanyán
élő parasztember, aki az istállójá-
ban leli fel a számára hieroglifá-
nak tűnő német nyelvű dolgozatot.
Szinte érthetetlen jelenség, hogy
olyan időszakban, mikor nyilván-
való beccsel bíró nemzeti értéke-
ink sora semmisül meg bűnös ke-
zekben vagy vétkes nemtörődöm-

ség következtében, az egyszerű ember ráérez a rejtőző kincsre. A postahivatalok hálózata igazítja el a fáradhatatlanul érdeklődőt, míg el nem jut Békésy professzorig a kalapját zavartan gyűrögető, derék budai vincellér. A kézirat külleme ugyan megviselt; a szerző számára az öröm mégis rendkívüli. A háború utolsó évében Lipcsébe elküldött cikk kézírata és rajzai egy bombatámadás során az Akustische Zeitschrift szerkesztőségében elégték. Az alapanyag hiányában reprodukálhatatlan értékezés — mint utólag bebizonyosodik — nem jelentéktelen eleme az életműnek. A szerző maga is legjobb cikkei közé sorolta, és

úgy látszik, véleményében az Amerikai Akusztikai Társaság is osztozott. Tizenöt évvel később ugyanis ez a tekintélyes testület a közleményben ismertetett kutatásaiért aranyéremmel tünteti ki. A vitathatatlan siker, az osztatlan elismerés azonban ekkor csupán a jövő rejtett ígérete.

A következő hónapok Békésynek sok kudarcot és fájdalmas sebeket hoznak. Ekkor ütközik össze oktatási koncepciója az egyetemi vezetés más irányú elképzeléseivel, és a professzor a sérelem emlékét indulati töltés nélkül, de mindhaláláig megőrzi. A konfliktus annál fájóbb, mert tulajdonképpen mindkét félnek igaza van. Az egyetem

álláspontjának megértéséhez röviden át kell tekintenünk a magyar közoktatás és tudományosság millenniumot követő fél évszázadát.

A századforduló után magyar származású kutatók a természettudományok számos területén érnek el jelentős eredményt. Ám a gyakran idegen színekben felmutatott teljesítmény mögött egyéni kiválóság és nem honi tudományos iskolák indítása rejtőzik. A természettudományok támogatása — néhány tiszteletre méltó, de kivételnek számító esettől eltekintve — mostoha. A középfokú oktatásnak is elhanyagolt területe a természettudományos képzés. Kétségkívül léteznek ki-

tűnő, nívósan oktató gimnáziumok, és fizikát, kémiát, matematikát magas szinten továbbadó, kiváló tanárok is. A képzés fő irányát viszont a tantervek határozzák meg, és azokban bizony a humán tudományok túlsúlya nyomasztó. Annak ellenére, hogy számos oktatáspolitikusunk előtt nyilvánvaló, hogy egy nemzet anyagi felemelkedése a XX. században alapos, és főleg széles körben oktatott természettudományos műveltségen áll vagy bukik, nem történik lényeges változás. A felszabadulást követően nyílik lehetőség a már régen esedékes reformok bevezetésére. A megvalósítás viszont csak jól képzett, modern

természettudományos ismeretekkel rendelkező, nagyszámú tanár kibocsátása útján volt elindítható. Ám a támasztott igénynek a Pázmány Péter Tudományegyetem fizikaoktatása is csupán részlegesen felelt meg. A képzés új koncepciója nyilván azt is megkívánja, hogy megfelelő egyetemi tankönyvek álljanak a tanárjelöltek rendelkezésére. Szerfelett tanulságos ezért, ha elővesszük a Tangl-féle *Kísérleti fizika* tankönyv 1946-os, negyedik kiadását, és összevetjük a hasonló funkciót betöltő Grimsehl megfelelő köteteivel. Nem méltányos megfeledkezni arról, hogy Tangl jelentős tanáregyéniiség, akire tisztelettel emlékeznek

vissza jeles tanítványai. 1924-ben kiadott könyve a korszerű kísérleti fizika egyetemi tananyagának első magyar nyelvű összefoglalása, és didaktikailag is jól szerkesztett munka. 395 oldal terjedelemben azonban ekkor már aligha lehetett letárgyalni egy tudományos igényű tanárképzés kísérleti fizikai alapjait. Hozzá kell tennünk még azt, hogy a kötet csak a Barnóthy Jenő és Forró Magda által végrehajtott jelentős kiegészítések után éri el a fenti szerény oldalszámot. Ez a tankönyv szolgált a fizikát elsajátítani kívánó tanárjelöltek elsődleges szellemi táplálékául. Bőségesebb irodalmat a németet jól bíró hallgatók találhattak ugyan,

de a néhány fellelhető kötet aligha lehetett elégséges népes évfolyamok alapos felkészüléséhez. Az anyag módszeres, rendszeres előadására lett volna szükség; ezt igényelte az egyetem is a fizika tanészékvezető tanárától. Békésy viszont úgy vélte, a tények fellelhetők a könyvekben és a folyóiratokban, és a kutatás módszertanát kívánta hallgatóinak megtanítani. A tanítványok döntő többségénél vélhetőleg hiányoztak a feltételezett előismeretek, és így formálódhatott ki a vélemény: „az előadások színvonala túlságosan magas”. Az álláspontok különbségét sok év múlva maga Békésy világítja meg tömör, szenvtelen

mondatokban: „Elsősorban a kutatás módszertanát akartam megtanítani. Az egyetem nem akart módszert tanítani. Alapvető tényeket, adatokat kívántak a hallgatókkal elsajátíttatni.”

Kétségtelen, Békésy elgondolásai kiválóan érvényesültek volna azon a területen, amit ma posztgraduális képzésnek neveziünk. A szemben álló felek azonban nem értették meg egymást. A professzor nem érzékelte, hogy olyan magasságokban jár, ahová csak néhány kiváló tanítványa tudja követni. Vitapartnerei viszont arról feledkeztek meg, hogy az egyetemi oktatóként kevésbé eredményes Békésy szakterületének világ-

szerte elismert művelője, aki megfelelő színvonalú közegben könnyen válhatna egy tudományos iskola szellemi központjává.

A tragikus félreértés bekövetkezett, és Békésy, aki 1940-ben jó szándékkal telve látott hozzá az egyetemi oktatás kétségkívül esedékes megreformálásához, mélységesen elkeseredik. Súlyosbító körülmény, hogy belátható időn belül remény sincs arra, hogy a Postakísérletin újrakezdhesse kutatásait. Ekkor újítja meg ajánlatát a közép-európai kutatókkal hagyományos jó kapcsolatot ápoló Svédország. Most nem Bárány, hanem a stockholmi Holmgren professzor kínálja meg kutatási le-

hetőséggel régóta tisztelt magyar kollégáját. Gunnar Holmgren a főszerkesztője az Acta Oto-Laryngologicának, melyben az 1938-ban tartott stockholmi előadás szövegén kívül Békésy több cikke is megjelent már. Valószínűleg a régi ismeretség befolyásolja abban, hogy a svédországi meghívást fogadja el az ez idő tájt érkező több külföldi ajánlat közül. A Karolinska Intézet vendégprofesszori minőségben alkalmazza a magyar akusztikust, aki több mint egy éve nélkülözi már az élete értelmét jelentő kutatás lehetőségét.

A Stockholmban töltött év során ismét megkezdte az alaphártya rezgésformáinak vizsgálatát. Érdekes jelenség, hogy ez alatt a rövid időszak alatt kerülnek Békésy halláselméleti kutatásai a legközelebb a gyógyító orvostudományhoz. A középfül rég ismert betegsége a hallócsontláncolat elcsontosodása. A kóros folyamat következményeként teljes mértékben rögzül az ovális ablakban a kengyel talpa, és a fül hallóképessége kb. ezredrésze csökken. Az elzárt ovális ablak pótlására mind Bárány, mind Holmgren professzor kidolgoztak egy műtéti eljárást. A félkörös ív-

járatok egyikén nyitottak mesterséges nyílást, mely átvette az ovális ablak hangtovábbító szerepét, és ily módon jelentős hallásjavulást értek el. Békésy kísérletileg vizsgálta meg, hogyan változnak a művi ablak nyitásakor a belső fülben a nyomásviszonyok.

Stockholmban megépíti automata működésű új audiométerét, mely alkalmas arra, hogy a vizsgált páciens önmaga vegye fel hallásgörbéjét. Az audiométer tulajdonképpen továbbfejlesztett változata annak a modellnek, melyet Békésy még idehaza konstruáltatott meg Pulvári Károly hangmérnökkel.

A stockholmi hónapok nyugal-
mát ismét gondok felhőzik be. A
háború utáni évek Svédország szá-
mára sem könnyűek, és a Karo-
linska Intézet aligha tudná tartó-
san finanszírozni Békésy kutató-
sait. A válságos helyzetből S. S.
Stevens professzor meghívása je-
lent kiutat. Emlékezzünk: ő ke-
reste fel 1937-ben Newman társa-
ságában Budapesten a feltűnő ered-
ményeket publikáló magyar akusz-
tikust.

Békésy angolul olvas, beszéd-
készsége azonban tökéletesítésre
szorul. Erről már az Újvilágban
töltött első tíz perc végkifejlete
meggyőzi. A La Guardia repülő-
téren landoló gépből kilépő fizi-

kus tárcájában mindössze 50 dollár lapul. A folyosók kényszerpályája az Egészségügyi Hivatal tisztviselője elé tereli. Az amerikai rápillant és felteszi a szokványos kérdést: „Egészséges Ön?” Köztudott, hogy a Hivatal szigorú orvosi ellenőrzéssel gátolja meg, hogy az USA lélekszáma beteg állampolgárral gyarapodjék, ezért árgus szemei előtt még a félhalott bevándorló is harsány életerőt tanúsít. A középkorú úr azonban habozás nélkül bevallja: „Nem, nem vagyok egészséges.” A tisztviselő elcsodálkozik, és újra kérdez. A válasz ismét ugyanaz. Az egészségügyi hivatalnok nem tudja, mit gondoljon. A bevándorlóért

az Egyesült Államok legrangosabb egyeteme vállal kezességet, és az üvegfalakon túl már várják őt a Pszichoakusztikai Laboratórium munkatársai. Tán úgy véli, hogy az európai tudós a formásokon élcelődik, és a rezzenés nélküli arcú tréfacsinálók fajtájából való. Gondolja: a magas Hivatal intelligenciaszintjéhez úgy illik, hogy képviselője elmosolyodjék, és egy udvarias kézmozdulattal megnyissa az Államokat a fura idegen előtt.

Békésy érzi, hogy valamit rosszul csinált, és az előcsarnokban haladéktalanul fellapozza szótárát. Azonnal rájön, hogy két hasonló hangzású szó, a „healthy” (egészséges) és a „wealthy” (gazdag)

tévesztette meg. Úgy értette a tisztviselő kérdését, hogy: „Gazdag-e Ön?” Miután 50 dollárját villámgyorsan összehasonlította az amerikai gazdagság etalonjának tekinthető Rockefeller-vagyonnal, nemleges választ adott.

Stevens professzor meghívása a Harvard egyetem nevében érkezett, és Békésynek a Pszichoakusztikai Laboratóriumban kínált kutatási lehetőséget. A laboratóriumból „Pszichofizikai Kutatólaboratórium” néven leválasztottak egy részleget, és a halláselméletet új alapokra helyező akusztikus minden korábbit meghaladó anyagi támogatással foghatott kutatásai kiterjesztéséhez. A laboratórium

helyiségeit a Memorial Hall alagsorában képezték ki. A tekintélyes Stevens baráti pártfogása átsegíti az egyetem szervezetébe való beilleszkedés nehézségein, titkárnője, Geraldine Stone pedig mentesíti az adminisztráció terheitől. Kutatásaihoz igénybe veheti az egyetem fülszakorvosainak közreműködését is. Beosztása mentesíti az oktatás kellemetlen emlékű kényszerétől, és teljes mértékben kutatásainak szentelheti idejét.

Megnyílik előtte olyan állatkísérletek lehetősége, melyekről korábban nem is álmodhatott. Módja van az ember és a majom fülének összehasonlító vizsgálatára. A kísérletekhez a tengerentúl cso-

dálatos fejlettséget elért elektronika olyan eszközeit veheti igénybe, amelyek Európában nem álltak rendelkezésére. A mikromanipulátoroknak már kifejlesztett családját némi átalakítással oly tökéletes boncolási eljárásokra teszi alkalmassá, melyek új adatokat szolgáltatnak a csiga hártyáinak fizikai tulajdonságairól. A Harvardon kezdi tanulmányozni az emberi fül elektromos jelenségeit. Új vizsgálatai teremtenek alapot a mechanikai folyamatok és elektromos kísérőjelenségek közti kapcsolatok megkereséséhez.

Az 50-es évek során kezdi meg a többi érzékszerv működésével kapcsolatos kutatásait. Ezek a kí-

sérletek vezetnek el biofizikusi tevékenységének második korszakához. A témaváltást részben az a több mint egy évtizede érlelődő felismerése sugallja, hogy az érzékszervek felfogó és idegi továbbító folyamataiban alapvető hasonlóságok vannak. Másrészt Stevens professzor ösztönzi arra, hogy kutatásait terjessze ki ilyen irányban.

S. S. Stevens mind tudományos, mind emberi mértékkel mérve nagy egyénisége az érzékszervi kutatásnak. Emberi formátumát jól jellemzi, hogy jelöli Békésyt a Nobel-díjra, jóllehet maga is várományosa a magas kitüntetésnek. A tudományos önzetlenséget a szélsőyes sors nem jutalmazza: 1974-

ben Stevens meghal anélkül, hogy a dinamit felfedezőjének képével ékes aranyérmet elnyerné. Magatartásával azonban a jellembéli nagyság örök példáját hagyja az utókorra.

Az Egyesült Államokban éled újjá az a szenvedélye, amely végső soron a stockholmi múzeum kelet-ázsiai anyagának jelentős gazdagításához vezet majd. Angol nyelvű életrajzának írója, Floyd Ratliff, részletesen foglalkozik műgyűjtői tevékenységével. A tényszerű adatok ismertetésén túlmenően rendkívül érdekes képet fest a műértő Békésy és tárgyai kapcsolatáról.

A család számos tagjában élő művészi hajlam határozottan meg-

nyilatkozik a fiatal Györgyben is. Svájcban zenei tanulmányokat is folytat, és késztetést érez az előadóművészi pálya iránt. Úgy véli azonban, hogy a zene túl nagy vonzást gyakorol szellemére. Mivel érdeklődése más irányban is nyitott, szabadulni kíván a muzika minden mást elnyomó varázslatának hatása alól. Egyetemi hallgató korában ébredszik rajzkészsége. 1922-ben, Lola húga társaságában vázlatokat készít a firenzei San Miniato al Monte és a Santa Maria Novella padozatának márványmozaikjáról. A vonalak latin harmóniája, a részletekből kialakuló nagy szimmetria oly extázisba hozza a fiatal vegyészt,

amelyre dr. Passuthné több mint hatvan év távlatából is élénken emlékezik. Önarcképet rajzol, festeni kezd. A család birtokában levő képek kétségtelenül tanúsítják: alkotóereje a képzőművészet területén is képes lett volna maradandó érték létrehozására, ha önmegvalósító hajlama a festészetnél állapodik meg. Mivel intellektuális érdeklődése a fizika művelésére predesztinálta erősebben, olyan tudóssá fejlődött, akiből az elnyomott művészi hajlamok műgyűjtő szenvedély formájában törtek elő.

Békésy azonban nemcsak műgyűjtő, hanem kiváló képességű műértő is. A markáns vonalú érdeklődésbeli kettősség megértésé-

hez le kell bocsátkoznunk e rendkívüli ember lelkének mélyebb rétegeibe. Műértése táplálkozhatna az elemző értelem szenvtelen intellektuális örömeiből is. Bár finom analízisekre, árnyalatok megkülönböztetésére beállított természettudományos gondolkodása eleve alapja lehetne a műértés technikai részének, hajlandóságának magva mélyebben rejtőzik. Békésy elemi erejű vonzódást érez a szépség szemléletének élményéhez. E szellemi gravitáció magvát végül is a képzőművészetek alkotásaiban leli fel. Különös paradoxon: a hangérzékelés folyamatának legavatottabb ismerője a zene Kirkéjének bűvöletéből menekülni kíván, de

a művészet egyéb alkotásaiban való gyönyörködést harmonikus egységbe tudja olvasztani tudományos munkájával. Az érzéketlen formában megjelenő szépség meglátásának és a benne való gyönyörködésnek a készsége egész életén végigkíséri. Fogékony a szépség legkülönbözőbb formái iránt. Emlékezzünk: bár a belső fül feltárására tudományos érdeklődés ösztönzi, a csigajáratok megpillantásakor az esztétikai élmény fölébe kerekedik az értelem örömeinek. Hawaiból keltezett leveleiben elragadtatással ír a kék, húsz centiméteres tropikus pillangókról, alvó vulkánok fenséges látványáról és tarkahátú gyíkóriások hátán ra-

gyógó napfényről. Barátja és orvos, dr. Batkin elmondja, hogy együttes kirándulásaikon sokszor állította meg kocsiját a honolului tengerparton, hogy az óceáni naplemente szépségében gyönyörködjék. Halála előtt négy hónappal, mikor már két óránként szedett morfiumtabletták hatás-intervallumai szabdalják valamelyest elviselhető szakaszokra az életet, így ír: „A sors iróniája, hogy az ember úgy él itt, mint a mennyben, olyan csodaszép.”

Budapest jónevű régiségkereskedői már a 30-as években ismerik a professzor különös képességeit, és gyakran kérik véleményét régi bútorok, hegedűk, fából és

bronzból készült tárgyak korát és eredetiségét illetően. Mint láttuk, az éles hallású fizikus a telefonvonalak kattánásainak hangszínéből indul ki áramkörmérési módszerének kidolgozásánál, és kiváló érzékenységű füle vélhetőleg hangzásbeli különbségeket észlel különböző érettségű faanyagok megkopogtatásakor. Érdekes, hogy az absztrakt tudományoknak elkötelezett tudóst éppúgy érdekli a tapintható anyag természete, mint a reneszánsz nagymestereit alkotásaik matériája.

Egy adalék e harmóniákból és ellentétekből szőtt lélek természetrajzához. Tudását a közlés belső kényszerével igyekszik másokkal

is megosztani. Az egyetemi épületben ipari tanulóknak tart előadást a hegedűkészítés anyagáról és művészetéről. Ki ne találná különösnek, hogy az átlagos egyetemi polgároknál is szintkülönbséget tévesztő Békésy sokkal képzetlenebb hallgatósággal kíván kontaktust teremteni? Mi több, az előadás jól indul, és a műhelyek kisépe érdeklődéssel figyeli a beszédébe német szavakat elegyítő, de érzékletesen gesztikuláló professzort.

Műgyűjtői tevékenységére vonatkozóan 1938-ból származik az első feljegyzés. Az akkor vásárolt elefántcsont szobrocska után nyomozva egy iparművészeti szak-

könyvben megtalálja az eredetit, Stilicho vandál vezér diptichonját. Első szerzeménye valószínűleg a Honorius császár leányáról mintázott egyik oltárszobor másolata. A következő évek során rendszere- sen vásárol; a gyűjtemény gyarapí- tását bizonyára anyagi helyzetének a tudományos sikereket követő ja- vulása teszi lehetővé. Kódexek, réz- metszetek, napórák, egy Holbein Haláltánc, céhzászló, bronzharang („nagyon szép hangú”), réz asztali óra, arany mérlegek szaporítják a kis gyűjteményt. Ez a műalkotáso- kat, régiségeket és ritkaságokat tar- talmazó kollekció, melynek össze- állítását nyilván anyagi lehetőségei erősen befolyásolták, elárulja azt az

igényét, hogy mives munkák segítségével behatoljon letűnt korok szellemébe — de Békésyre még nem jellemző igazán.

A Harvard egyetem Senior Research Fellow-ja már sokkal kötetlenebbül hódolhat szenvedélyének, valamint gyakori utazásai során ismeretséget köt három kontinens számos nagyvárosának műkereskedőivel. E két körülmény magyarázza azt a tényt, hogy a gyűjtemény rendkívül sokoldalú válogatást ad a primitív művészetek területéről, továbbá hosszú fejlődési periódusokat megért kultúrák archaikus szakaszából. Található a műtárgyak között néhány XVI—XX. századi európai darab

is, a domináns jelleget azonban az ókori Kisázsia, Egyiptom, Bizánc, Perzsia, India, Kambodzsa, Thaiföld, Kína, Tibet, Korea, Japán, Mexikó, Peru, Mali, Elefántcsontpart, Zaire, Nigéria földjéből előkerült leletek adják. Széles körkép, alkalmas arra, hogy zavarba ejtsen bennünket, ha arra a kérdésre keresünk választ, hogy milyen jellegű kapcsolat fűzte e rendkívüli tudóst műtárgyaihoz. Idejével gondosan gazdálkodik, és azt tudománya és műtárgyai között osztja meg. Mivel a laboratóriumban tölti életét, ott helyezi el kincsei egy részét is. A kísérletek végzése közben és után leül íróasztalához, és pihenésként a kiállí-

tott tárgyakat vizsgálja. Békésy életében az alkotás és az alkotó semmittevés egyetlen hatalmas folyamammá egyesül. A termékeny meditáció órái egyaránt érlelik az új ötleteket és a szemlélt tárgyakra vonatkozó megfigyeléseket.

Jellemző történet a „mosolygó jaguár” históriája. A kőből faragott állatszobrot mexikói indián leletként ajánlotta néki egy műkereskedő. Ekkor még nem szerzett elegendő gyakorlatot azték leletek felismerésében, ám az íróasztalán elhelyezett új szerzeményt szemlélve különös dolgot észlelt. Az állat „arcvonásain” az emberi mosolyhoz hasonló derűt látott lebegni. Megfordította a terme-

tes szobrot, és kétségtelenné vált: nem a nehéz kezű szobrász vésője teremtetett véletlen aszimmetriát, a macskapofa mindkét fele mosolyog. Azt már tudta, hogy a jaguár rituális ábrázolás tárgya az indián kultúrákban, és illő zordonsággal trónol az időtlenségbe merevült szentélyfalakon. A kétes darabot visszaszállította a különben jóhiszemű kereskedőnek, aki bizonyosságszerzés céljából Bostonból (itt történt a vétel) New Yorkba vitte a szobrot egy ismert szakértőhöz. A másodpercek alatt bekövetkezett azonosítás Békésyt igazolta, és az eset hírének elterjedése illő respektust keltett az amerikai műkereskedők körében.

Szakértelme nem csupán éles megfigyelő- és elemzőkészségen alapult. A vizsgált kultúrákra vonatkozóan alapos irodalmi tanulmányokat folytatott, és barátait — vagy éppen Gusztáv Adolf svéd királyt — nem egyszer lepte meg széles körű és apró tények területén is pontos tudásával. Mindamellet ennyi ország művészetére vonatkozóan aligha tudta megszerezni azt a teljes körű történelmi, földrajzi, etnográfiai, művészettörténeti tudást, mellyel az e területet művelő professzionista szakember mélyed tárgyába. Mikor egy mexikói porfirálarc zárt vonásainak titkát vallatta, vagy az ábrázolás rútsága mögé rejtőző,

tartózkodó szépséget kereste egy csúcsos fejű nigériai szobron, bizonyára intuíciójára támaszkodott elsősorban. A módszeres feltárásnak egy zseniális villanással elébe vágó megismerés a tudományos kutatástól sem idegen. Nem járhatunk messze az igazságtól, ha úgy véljük: e sok terület legtöbbszörjén amatőr, de kétségkívül kiváló ízlésű műértőnek bizonyult. Élete alkonyán azonban csúcsra, műgyűjtői pályájának tetőpontjára érkezik fel. Hawaiban él, és gyűjteménye jelentős számú indiai, kínai és japán tárggyal gyarapodik. A megváltozott életkörülmények új távlatokat nyitnak számára, a Csendes-óceán ázsiai part-

ja mentén érintkező nagy kultúrkörök világát. Személyes ismeretségbe kerül a szigeten élő kínaiakkal, japánokkal, köztük olyan rendkívüli barátokra tesz szert, mint a Nobel-díjas író, Jaszunari Kavabata.

Itt döbben rá a világ történelmi és kulturális fejlődését egyoldalúan értékelő európai szemlélet korlátaira, és önéletrajzi írásában habozás nélkül számol le előítéleteivel.

Békésy friss szelleme, lényeglátó megfigyelőkészsége hamar a felszín látszata alá hatol. 1970-ben írja le a következő sorokat: „Ez megérlelte bennem annak a felismerését, hogy az emberek gondolkodásmódja, munkastílusa, íz-

lése Keleten teljesen más, mint Nyugaton. Ezt nem változtatja meg sem a békés átszervezés, sem a háborúk. Ez így volt ezer és ezer éven át, és így van jelenleg is. Én mindezt jobban érzékelhettem és alaposabban ismerhettem meg, mint mások, mert én régi művészeti tárgyakat gyűjtöttem, és ezek éveken keresztül tudatosították bennem, hogy például mennyire különbözik a japánok gondolkodásmódja a kínaiakétól... Nagyon sok kultúra létezik a saját történetével és az élet kiértékelésének saját módjával.”

A nagy keleti kultúrák világában való elmélyedés azonban lényegesen több számára, mint eddig

végzett művészeti bűvárkodása. Ezúttal nem egy-egy tárgyon keresztül kísérel meg behatolni kihalt népek vagy elmúlt korszakok szellemébe, értékes, de mégiscsak részmegfigyeléseket végezve. Évezredes, ám életképességüket töretlenül megőrzött kultúrák bontakoznak ki előtte teljes monumentalitásukban. Az idegenből érkezett ember friss szemével azonnal meglátja a japánok európaizálódás álcája alá rejtőzött, de elevenen ható és sorsformáló erejű ősi jellemvonásait. A kínai és japán művészet különböző századaiból kapott impressziók és a jelen világából szerzett benyomások egy nagy szintézisben olvad-

nak össze benne. Rokonszenvvel szemléli Kelet nagy olvasztókohójának működését, a számára idegen népek önmegvalósító hajlamainak érdekes alkotásait. Miközben csodálkozva és gyönyörködve mereng az új világ felett, hallani kezdi a sors titkos súgását. Igen, a létezésnek számos értelmes formája van. Gazdag, színes, tartalmas életet élt, majdnem mindig azzal foglalkozva, ami legjobban érdekelte. Ám a törékenynek tartott, de végtére mégis oly szívós test mintha lázongani kezdene. A külvilág irányába forduló éber értelmet sürgető, szaporodó belső jelzések ösztökélik. Tudomásul kell vennie, hogy önmagával is törődnie kell.

De térjünk vissza az esztéta világából a tudós kutatólaboratóriumába. Az 1960-as évek közepén Békésy már egyre nehezebben viseli el a Harvard egyetem légkörét, bár visszahúzódó természete valamelyest megóvjja attól, hogy közvetlen részese legyen azoknak az összeütközéseknek, melyek elkerülhetetlen velejárói még egy tudományos intézmény működésének is. Az anyagi támogatás elosztásának rendjét, mely megkívánja az előzetes tervek elkészítését, a szabad kutatószellem egyre nyűgösebb terhének érzi. Mintha a sors üldözése is mintát találna a Postakísérleti Állomás laboratóriumának végzetében. Tűzvész

pusztít a Memorial Hall épületében, és amit a lángok épen hagynak, azt az oltószivattyúk semmisítik meg. A sok gondosan megépített berendezésen kívül Békésy értékes jegyzeteinek egy része szintén áldozatul esik az általános pusztulásnak. Úgy véli továbbá, hogy kutatói egzisztenciáját a nyugdíjazás veszedelme fenyegeti. Bár számos kutatást végzett az egyetemen, és cambridge-i életszakasza jelentős eleme tudományos pályafutásának, nem érzi többé ott-hon magát a régi laboratórium helyett kiutalt hipermodern épületben. Ilyen körülmények között érkezik címére egy új ajánlat. A honolului egyetem hívja meg az Ér-

zékszervek Tudománya megnevezésű, az ő részére létesített tanszék vezetésére. A tanszékhez egy jól felszerelt kutatólaboratórium is tartozik. Cambridge-i rossz közérzete nyilván hozzájárul ahhoz, hogy elfogadja az USA ötvenes sorszámú szigetállamának meghívását.

Az elmondottak kétségkívül indokolják a meglepő döntést, mellyel egy beérkezett, belső sikerélményben és külső elismerésben sem szűkölködő tudós hetvenedik életéve felé közeledve ilyen nagyot fordít sorsán. Sem saját önvallo-mása, sem életrajzírói nem mennek túl a külsődleges okok felsorolásán. Kétségtelen azonban, hogy a

helyváltoztatáshoz legalább azonos mértékben hozzájárulnak a pszichológiai indítékok is.

Békésy nem rendelkezett az emberismeret adottságával, és ezt a képességet a múltó évek sem alakítják ki benne. Az emberek mindegyikét — a kritikai megfigyelés próbája nélkül — eleve jónak tekintti, és amikor egyesek méltatlannak bizonyulnak az előlegezett bizalomra, kedélye az ellenkező végletbe csap át, és ellenségesnek véli az őt körülvevő teljes világot. Jellemző egyik barátjának emlékezése, aki a San Francisco környéki hippy-településen tett látogatásáról így ír: „Őszintének, kedvesnek találta az életmódjukat. Má-

soknak ugyan egyáltalán nem ez a véleményük, de Békésy mindig a jót látta az emberekben.” A kép-let jellemző; nem kell túl sokat keresgelnünk a nagy formátumú egyéniségek között, hogy alkati rokonaira akadjunk. Főleg a művészek között találunk másaira, az emberiséget válogatatlanul keblükre ölelők típusára, akik az óhatatlanul bekövetkező csalódások és ebből származó fájó lelki sérüléseik után a kollektív kiátkozásra is hajlamosak. Nem tudjuk rekonstruálni, milyen szándékok, tervek és értékítéletek érlelődtek a Harvard vezetőiben 1966 körül Békésyre vonatkozóan. Ismerjük azonban Stevensnek azt a méltatását,

mellyel 1961-ben a The Acoustical Society of America aranyérmét átadja. A felsőfokon fogalmazott elismerésekben bővelkedő beszéd-től, mely Békésyt az emberi hallásfiziológia legalaposabb ismerőjének minősíti, aligha lehet az autentikusságot megtagadni. Ismert tény az is, hogy a professzor a következő években változatlan termékenységgel publikálja új kutatásainak eredményét. Nagyon valószínű, hogy pozícióját és kutatási lehetőségeit Cambridge-ben sem fenyegeti reális veszély. A menekülés kényszere inkább a saját tudatában, mint a körülményeiben rejlő késztetés. Indokolatlanul látszó aggodalmaskodása —

egy apróság kapcsán — feltűnik az őt 1965-ben, Cambridge-ben meglátogató dr. Tarnóczynak is. Lelkialkatából következik, hogy az „örök tavasz szigetei”-re is a csupajósággal kikárpitozott világ eleve feltételezésével lép. Ne csodálkozunk tehát azon sem, hogy a tündéri képre — melynek csodájában mindhalálig gyönyörködni fog — néhány év múlva sötétebb tónusokat fest majd. Ez viszont a következő évek történetéhez tartozik már.

Japán és San Francisco között félúton, mintegy húsz szigetből álló csoport emeli fejét a Csendes Óceán tintakék hullámai fölé. Tűz és víz gyermeke e paradicsomi táj. Az alig tízezer négyzetkilométer-

nyi főszigeten két vulkánóriás fúrja gigászi kúpjait az égbe, ezer méterrel haladva meg Szicília rémét, az Etnát. A 4170 m-es Kilauea keleti lejtőjén ma is ott fortyog Földünk egyetlen lávatava, és a szigetlánc gyöngyszemei fölé másutt is magasodnak működő vulkánok fenyegető árnyékai. A trópusi esőktől elmállasztott vulkáni kőzet azonban csodálatos vegetáció melegágyává változik. A termékeny fák kiapaszthatatlan bőséggel érlelik ízes gyümölcseiket; a meleg tenger és a gyors folyók a halászok hálóit töltik meg naponta biztos zsákmánnyal. A bibliai Édentől csak előnyére különböző smaragd-zöld erdőt nem lakja ártalmas állat,

a polinéz vadász íja elé legfeljebb gyanútlan szarvas vagy legelésző vadkecske téved. A szigeteket szép testalkatú, magas intelligenciájú emberfaj lakja, melyet a természet kegye a munka kényszere nélkül lát vendégül terített asztalánál. Ilyennek látta a Hawaii-szigetek világát Cook kapitány, és az idilli állapotok csaknem a századfordulóig érintetlenül fennmaradtak. Az amerikai gazdasági, majd politikai berendezkedés nyomán sok helyen sérül meg az őstermészet hamvasága, de az Óceán gyöngyszemének varázsát még a civilizáció sebhelyei sem foszlatják szét.

Békésy 1966 júliusában érkezik Hawaiiira. Honolulu-ból keltezett

első leveléből valósággal árad a soha nem tapasztalt változatait feltáró természet csodálata. Azonnal felfigyel a tarka népesség nyüzsgő mikrokozmoszára, különösen a céltudatosan szorgos japánokra. Tervekkel telve lép be új laboratóriumába; szeretné végrehajtani azokat a kísérleteit, melyek megvalósítására még nem volt ideje. Termékeny, munkás, elégedett öregkor reményét vetíti előre a kedvező fogadtatás. A publikációk tükrében vizsgált aktivitása sem lankad, közleményei változatlan bőséggel jelennek meg, az érzékelés új területeiről választott analógiák sorával ostromolva a hangfelfogás még megmagyaráz-

hatatlan folyamatait. A távközlési mesterséges holdak és a sugárhajtóműves repülőgép korában már nem jelent elszigeteltséget a dátumvonal közelében fekvő, óceánközépi kutatóhely sem. A szakörök változatlanul figyelnek a Békésy-laboratórium híradásaira, és ha a számtalan elhárított meghívásból csak az elfogadottakat emeljük ki, akkor is képet alkothunk arról az eleven kapcsolatról, amelyet a tudományos világgal élete végéig fenntart. Előad Halleban, Los Angelesben, Kínában, Buenos Airesben, Cordobában, Bostonban, Koppenhágában és New Yorkban. Teszi mindezt szorgos kutatásokat végezve és napra-

készen követve a fiziológiai akusztikát, mely a harmincas évek jól áttekinthető szakterületéből éppen az ő kísérleteitől inspirálva fejlődött hatalmas tudománnyá. A kontinenseket átívelő előadóutakon szól a szakemberekhez, egyetemi hallgatókhoz, és laikus közönséghez egyaránt. 1970-ben Los Angeles-i útja alkalmával három előadást is tart, egyet közülük az egyetem egy auditóriumának zsúfolt padsorai előtt. *A hang és a hegedű* című, nagyközönségnek szóló előadásáról ismerjük egy magyar szemtanú beszámolóját. A professzor bámulatra méltó közvetlenséggel teremt kontaktust publikumával, és fanyar humorára

szenzitíven reagál jórészt fiatalokból álló hallgatósága. A közönség feszülten figyel a Stradiváriusok titkait avatottan boncolgató világ-hírű tudósra, és senki sem veszi észre a könnyedség mögött meghúzódó iszonyatos erőfeszítést. „Nem hiszem, hogy valami baja lehet” — írja az előadás után gyanútlan magyar hallgatója. Pedig Békésy már több mint másfél éve tud a halálos kór alattomos burjánzásáról.

1968. augusztus 30-án repül Argentínába, hogy Buenos Aires egyetemén egy négyhetes előadás-sorozatot megtartson. Meghívják Cordobába is, melynek nagy múltú egyeteme már a Harvard alapítása

előtt harminc évvel létezett. Dél-Amerika illő módon tiszteleg a nagy tudós előtt, mindkét egyetem nagyvonalúan megrendezett ünnepségen adja át a „doctor honoris causa” címével járó jelvényt. A szerény, visszahúzódó természetű Békésy mindig idegenkedett a nyilvános szereplés olyan alkalmaitól, melyek középpontjában nem tudománya, hanem személye állott. A latin vérű ország embereinek nyílt szívélyessége most feloldja gátlásait, és derült elégedettséggel szemléli az alkotó életpályát méltán megillető tisztelet megnyilatkozását. A leáldozó nap sugarai még áttörnek a felhőtakarón, és csodálatos ragyogásba

vonnak mindent. „Argentína volt számomra a legszebb utazás, amit tettem valaha.” „Ezek voltak az utóbbi húsz évben a legszebb napjaim” — írja 1968. október 16-án. A sötétség azonban fátumszerűen, feltartóztathatatlanul közeledik.

Még Buenos Airesbe való indulása előtt leír két baljós mondatot. „Egészségileg nem vagyok jól. Azonban csak az utazásom után szeretném, ha megoperálnának.” Élete dél-amerikai fellobbbanásának hőfokán bajait feledni látszik, és hazatérve így ír: „Teljesen egészségesen érkeztem meg hathetes utazásom után ide, Honoluluba.” A nyomasztó, kétes, fenyegető tünetek azonban szaporodnak. Bé-

késy megkísérli elhitetni önmagával, hogy emésztőszerveinek működését az agglegényélettel járó rendszertelen étkezés zavarta meg. Ám a visszatérő bélvérzések után már nem halogathatja a kivizsgálást, és a Kaiser Kórházban készült húsz röntgenfelvétel kétségtelenné teszi a diagnózist. A daganat eltávolítása után egy második műtét is szükségessé válik. Állapota 1969 szeptemberében válságosra fordul; a második operációt követően ugyanis tüdőgyulladás lép fel, és a legyengült szervezet már végső erőtartálékait fogyasztja. Szeptember 2-án búcsúlevelet ír: „. . . valószínűleg néhány hét múlva pulmóniában meghalok.”

Az antibiotikumoktól támogattott természet mégis felülkerekedik, és novemberben már ismét bejár a laboratóriumába. Az operációk ideiglenes javulást eredményeznek, és szeptemberben az elmúlásba fáradtan beletörődő Békésy négy hónap múlva már Los Angelesbe repül, hogy — többek között — említett előadását is megtartsa. A következő év során levelei közérzetének szeszélyes változásairól tanúskodnak. Elképzelhető, hogy a végső letörés felé haladó szervezetének belső érzéklése valóban váltogatja a csalóka biztatás és a veszély jelzéseit. Valószínűbb azonban, hogy ez a szenvtelenül éber intellektus is haj-

lamot érzett arra, hogy időnként az önáltatás törékeny kagylóhéjába zárkózzék.

A test szenvedése nyilván a lélek ellenállóképességét is kimeríti; és az értelem is hajlamosabbá válik a tények borúlátó megítélésére. 1968-ban a honolului egyetem vezetésében változások következnek be. Lemond a rektor és helyettese, bizonytalanná válik a Békésy-tanszéket felügyelő dékán helyzete. Mindezek betetőzéséül kivándorol Kanadába annak az intézetnek az igazgatója, melyhez az érzékszervi laboratórium tartozik. A változásokkal járó zűrzavar feltehetően kedvezőtlen közérzetet teremt az egyetemen; aligha magyarázza

azonban a fenyegetettségnek azt az érzését, amit a professzorból az események kiváltanak. A bajok egészségének megrendülésével egy időben következnek be, és ez a körülmény magyarázza, miért reagál oly érzékenyen azokra a személyi változásokra, amiket professzortársainak jó része valószínűleg csak egy vállrándítással vesz tudomásul. A korábbiakban már beszéltünk arról, hogy Békésyn könnyen vesz erőt a kishitűség érzése. Nem tagadható az sem, hogy pályafutása során érték méltánytalan sérelmek, volt tehát bizonyos alapja a pesszimizmusra. Nehezen hihető azonban, hogy a honolului egyetem büszkeségének, a világ-

híres tudósnak akár laboratóriumát, akár állását komoly veszedelem fenyegette volna az egyetemi vezetés kicserélődése következtében. Élete végének nyomasztó lehangoltságához mégis hozzájárul a létbizonytalanság tudata.

SZEMBEN KUAN YIN ISTENNŐVEL

1970. július 29-én kétségtelenné válik, hogy a kettős operáció csak a rák gócát és áttételeinek egy részét távolította el. Békésy ugyanazokat a tüneteket észleli, mint két évvel korábban. Tizenkét új röntgenfelvétel készül, melyek különös módon „nem mutatnak sem-

mit”. Orvosai — akik bizonyára látják már a feltartóztathatatlanul közelgő véget — valószínűleg ekkor kezdik a kegyes csalás terápiajával hitegetni páciensüket. Ez idő tájt támadja meg egy új betegség, a herpes zoster is. Részletesen foglalkozik leveleiben a kór tüneteivel és élettani alapjaival. Csakhogy a leírt betegség tünetei nem az övsömörre jellemzőek, bár bizonyos átfedés van a Békésy által tapasztaltak és a valódi szimptomák között. A kellemetlen, elhúzódó, fájdalmas, de mégiscsak gyógyuló betegség diagnózisa nem egyéb az utolsó felvonásra berendezett színpad kulisszájánál, amely még elta- karja a közeledő igazi főszereplőt.

Egy nagy üveg tablettát kap orvostól, amelyből a fájdalom csillapítására hat óránként szed be egy szemet. 1972 januárjában a pasztillák már csak 1—2 órányi szenderegés idejére védik meg a beteg a kín tördöféseitől.

A halál közeledését méltósággal fogadó emberi magatartás leggazdagabb változatait Hemingway mintázta meg. A gránitból faragott jellemek csarnokából azonban hiányzik a csendes heroizmus modellje, amely az előbbieknél nem kevésbé tiszteletreméltó változata a helytállásnak. Békésy életét a szellemi alkotómunka és a művészet szépségeinek szemlélete között osztotta meg, és szokásain a

vég közeledésekor sem változtat. Bár a hallás fiziológiájáról nála többet senki sem derített fel, az ismeretek gyarapodásával nőtt a feltárássra váró problémák száma is. A kiválasztott területet fél évszázadon át szívósan kutató fizikus élete utolsó hónapjaiban is kitartóan faggatja kísérleteivel a természetet. Mindezt nem alkotóképessége teljében, egy hirtelen lesújtó, még előre nem látható vég árnyékában teszi, hanem egyre fogyó életerővel. Még 1972 februárjában is bejár laboratóriumába, és ideje jó részét készülékei között ácsorogva tölti, mert már az elviselhetetlen fájdalmak miatt ülni sem tud. Az óvott, beteges testben kavargó kí-

nok tüzes pokla és a még mindig éber értelem közé a morfium von néhány órára lenge fátylat. Csak-hogy a jótékony szer a gondolatok szilárd kapcsolódását oldó elixír is. Békésy hatalmas intellektusa mégis fölé emelkedik az eufória lágy hullámainak, és érzel, észlel, feljegyez élete utolsó éber pillanataíig. Megfigyeli még a végzettel vívódó szervezetének érzékszervi reakcióit is. Hívjuk tanúságul önmagát, idézve címét egyik utolsó közleményének: *Zsigeri fájdalmak és egyéb érzetek lokalizációja érzéstelemlítés előtt és után.*

Kedves műtárgyainak jó részét laboratóriumában helyezi el; ez a legkedveltebb tartózkodási helye

az igazi otthonát csak eszközei világában megtaláló tudósnak. A mérések feszült figyelmet igénylő óráit a nyugalom alkotó szemlélődésével váltogatja. Tekintetét a szobrocskák finom vonalain pihenteti, és míg a kísérletező energiái regenerálódnak, az esztéta szelleme szépséggel töltődik fel. Munkatársai már eltávoztak; a laboratóriumban minden csendes, és ezek az elmélyült órák hozzák el élete leggazdagabb pillanatait. Ekkor tárulnak fel a vonalak rejtett szépségei, idegen kultúrák lelke, Kelet világának végtelen távlatai. Betegsége testi nyomorától űzötten kedvencei világában talál menedéket, és sokszor tölti a laboratóriumban

éjszakáit. Mint elmondja, egy ízben súlyos fájdalmaktól gyötörtén, várva az emésztőnedvekben szétomló pirula enyhületének elzsongító hullámaira, tekintetét Kuan Yin szobrára függesztette. A buddhizmus szerint a szenvedők fohásza az istennőhöz szállnak fel, és kegyes kezének simítása elcsitítja a test és lélek fájdalmait.

Egyszer — Békésy mondja így — úgy tűnik, mintha az istennő megszólalna. Száz és száz év távólából, egy hatalmas kultúra ismeretlen mélységeiből érkezik a hang. A halk szavakat felszívja a szenvedő, és lassan oldódnak a test és lélek görcsei. A szobrait oly sokszor és bensőségesen szemlélő tu-

dós szellemén áthullámzik a bölcs, lemondó, mély megértés. Elvégeztetett. És mivel Kuan Yin a könnyөрületesség istennője, jótékony fátyla még elfedi előle az utolsó heteket. 1972. április 12-én fog utoljára tollat. Vonásai a megszokott módon hurkolódnak a papíron, csupán a levél rövidsége érzékelteti a halálos fáradtságot. Az utolsó mondat, amit leír: „Isten veled, Anyám, ha valami biztosat tudok, írni fogok.” Egy hét múlva új műtétet hajtanak végre rajta. Másfél hónapig él még. Hetvenharmadik születésnapja után tíz nappal, június 13-án a sokat szenvedett szív megáll. Végakaratainak megfelelően, ősi polinéz szo-

kás szerint temetik. A megtért
gyermek hamvait az Óceán, a sok-
szor megcsodált, hatalmas ősanya
öleli magához lágy hullámaival.

AZ ÉLETMŰ

A CSIGA MECHANIKAI FOLYAMATAINAK FELFEDEZÉSE

Békésy akusztikai tárgyú publikációinak sorát az 1928-ban megjelent *Zur Theorie des Hörens; Die Schwingungsform der Basilarmembran* című közlemény nyitja meg. A *Physikalische Zeitschrift* hasábjain napvilágot látó cikkekre a szakmai közvélemény rendkívül gyorsan reagál. A megkülönböztetett figyelmet magyarázhatná a bálványrombolás rendkívüli spektakuluma is. Ám mi sem áll távolabb a szerény, más tudományos eredményeit korrekt tárgyilagossággal tisztelő Békésytől, mint éles szakmai viták

provokálása. Mindez nem változtat azon a tényen, hogy a cikk első bekezdésének huszonkét sora semmivé teszi a természettudományok utolsó egyetemes lángelméjének, Helmholtznak a halláselméletét. Kétségtelen, akadtak fiziológusok, akik már korábban rámutattak a bonni professzor teóriájának fizikai ellentmondásaira. A fiziológiai akusztika művelőit azonban a következő tizenhat oldal mondanója ragadta meg. A cikkel bemutatkozó magyar akusztikusnak a kritika ugyanis csak a kiindulás. Munkássága alapvetően eltér kollégáitól. Nem elméleteket gyárt, hanem a folyamatok lényegébe behatoló kísérleteket tervez és hajt

végre páratlan türelemmel és precizitással. Óvatosan fogalmazott megállapításait négyéves kísérletezés eredményeinek aranyfedezete garantálja.

Ma — több mint egy évtized távlatából — nem állíthatjuk, hogy a Békésy-életmű minden elemében maradandó értékűnek bizonyult. Még a teljesen egzakt megalkotású természettudományi kutatások megállapításait is számos esetben korrigálja az emberi megismerés folyamatos öntökeletesítése. Sohasem lesz azonban vitatható, hogy hatvanéves stagnálás után a fiziológiai akusztikát Békésy vizsgálatai irányítják új utakra. Merész kutatószelleme, zseniális

intuíciójának sorozatos sikerei bátorítják a belső fül és a fiziológiai aktivitásban lévő csiga folyamatainak megfigyelésére a biofizikusokat. Dr. Halm írja 1963-ban: „... az egész világ szakirodalma eredményes kutatásainak hatása alatt áll.” A megállapítás erejét az elmúlt huszonnégy év sem gyengítette.

Az életmű részleteinek megértése igényeli a fül felépítésének megismerését. Az orvostudomány a fülön a kagylótól a csigáig terjedő anatómiai képletek együttesét érti. A hallószerv megnevezés — mely a hétköznapi nyelvben szinonimaként használatos — az előbbieknél az idegpályákkal és az

agyi hallásmezővel kiegészített komplexuma. A kagylóval kezdődő külső fül a kb. 2,5 cm hosszú hallójáratban folytatódik. A mintegy 1,7 cm³ köbtartalmú üreg szerepe nem merül ki a fülnyílásba jutott hanghullámok passzív továbbításában. A csak egyik végén zárt légoszlop képes a rezonanciára, tehát az önrezgésszámának megfelelő frekvenciájú hangot felerősíti. Éppen Békésy műszeres vizsgálatai mutatták ki, hogy a hatás a 2000 — 5000 Hz intervallumban jelentős. 3500 Hz gerjesztésekor a dobhártya közelében mért hangnyomás háromszorosa a fülnyílás mellett meghatározott szabad levegőbeli értéknek. A halló-

járatnak ez a rezonanciakészsége fogékonyabbá teszi hallásunkat pl. a magasabb zenei hangok érzéklésének területén.

A külső fül a dobhártyával zárul le. A körülbelül 0,1 mm vastag, többrétegű, bőrszerű hártya a középfül kapuja. Széleit csontos gyűrű merevíti, formája a hangszórótölcsérhez hasonló. A kónuszos behúzódnál a középfül felé mutat; a tölcsér csúcsa azonban nem esik egybe a hártya geometriai középpontjával. A dobhártyához csatlakoznak a középfül hallástani kulcsfontosságú képletei: a hallócsontok. A kalapács nyelével a dobhártya csúcsához tapad, másik vége pedig a középső csontocskához, az

üllőhöz ízesül. Az üllő másik vége a kengyel közepén támaszkodik meg. A kengyel, ez a mindössze 3,2 mm hosszúságú, U alakú kép-let, száraival fordul a belső fül belépőnyílása, az ovális ablak felé. A száruk végét ellipszis alakú talplemez fogja össze; ez illeszke-dik a hártyával lezárt ovális ablak (fenestra vestibuli) nyílásába. A fenestra vestibuli az a kapu, melyen át a hangok világának csodálatos jelrendszere beárad tudatunkba. A belső fülbe még egy (hártyával zárt) nyílás vezet, a rejtettebben elhelyezkedő kerek ablak (fenestra cochleae). A hallócsontokat két izom és szalagok rendszere tartja lebegve a középfül üregében. A

kiegyensúlyozás tökéletes: a csontok tömegeloszlását úgy formálta ki a természet, hogy szapora és bonyolult rezgéseik közben a forgástengelyek mindenkor áthaladnak a súlyponton.

A csontlánc a hallásban többféle szerepet tölt be. Egyrészt többé-kevésbé merev rendszerként együtt dolgozva továbbítja a dobhártya rezgését az ovális ablakra. Másrészt amplitudócsökkentő, nyomásművelő szerepe van. Míg huszonkettedére mérsékeli a dobhártyától átvett hullámmagasságát, huszonkétszeresre fokozza a továbbított hangnyomás értékét. Fontos dolog ez: míg a levegő hullámait engedékenyen követő dobhártya

készleges továbbítója a hangnak, a belső fülben már folyadékba kell átlépnie az akusztikai rezgésnek. A vízhez hasonló sűrűségű perilympha viszont csak jóval nagyobb nyomás hatására kezd a hangfrekvenciát követő rezgésszámú mozgásba.

A hallócsontlánc harmadik fontos szerepét ismét Békésy vizsgálatai derítik fel. Amikor a dobhártyára érkező hanginger fizikai erőssége túllépi a közepes szintet, a csontocskák rendszere megváltoztatja rezgéssíkját. Az átkapcsolás 90° -kal fordítja el a kengyel forgástengelyét, és ezáltal lényegesen csökken az ovális ablakot terhelő nyomásamplitudó. Ez a védőme-

chanizmus akadályozza meg, hogy a rendkívül sérülékeny anatómiai elemekből álló belső fület az erős hanghatások károsítsák. Hasonló védőfunkciója van az egyik rögzítőizomnak, a szervezet legrövidebb izmának is.

Mielőtt a belső fül ismertetésére térnénk, megjegyezzük, hogy a dobhártya elnevezés némileg megtévesztő. A szó mintegy szuggerálja a kifeszített állapot képzetét. Nos ismét a minden részletre kiterjedő figyelme Békésy deríti fel, hogy a dobhártya nem áll tényleges feszítés alatt. Rugalmasságát inkább a középfül kb. 2 cm³-nyi levegőpárnája biztosítja, mely az összenyomásra a gáztörvényeknek

megfelelően reagál. A dobhártya rezgésformáinak vizsgálatánál Dahmann eljárását tökéletesíti. Szellemes újítást vezet be: egy kis felületű kondenzátorlemezt állít szembe a dobhártyával. Nagyfrekvenciás váltóáramot alkalmazva megméri a két felület alkotta kondenzátor impedanciáját. Mivel a dobhártya mozgásai erősen befolyásolják a kapacitást, érzékeny módszert nyer a kirezgések nagyságának mérésére. Ezt az effektust használja fel a dobhártya rezgési görbéinek felvételére. Az azonos amplitudóval rezgő pontok összekötésével kapott ún. izovibrációs görbék jó tájékoztatást adnak a dobhártyán kialakuló hullámformákról.

Már a középfül mozgásainak láthatóvá tételéhez is különleges kísérleti technikát használtak fel. Másodpercenként sokezerszer megismétlődő, kis amplitudójú rezgés fázisait kellett nyomon követni. A stroboszkópos megvilágítás és sztereomikroszkóp alkalmazása tette lehetővé a mozgások egy részének megfigyelését. A legnagyobb frekvenciák és leggyengébb hangok esetében bekövetkező jelenségekre azonban csak következtetni lehetett. A belső fülnél tovább fokozódtak a nehézségek. A folyamatokat megfigyelni, leírni és megmagyarázni törekvő biofizikus előtt leküzdhetetlennek látszó nehézségek tornyosultak. Nézzünk

két adatot. Egy közepes erősségű hangnál a kengyeltalp elmozdulása alig kétezred része a vörös fény hullámhosszának. Ez azonban még mindig százszor nagyobb a hallás-érzet keletkezésében központi jelentőségű alaphártya legkisebb kirezgésénél. A leggyengébb hallható hangnál (alsó hallásküszöb) elmozdulása alig nagyobb a hidrogénatom átmérőjének századrésznél.

Nem a „lélek restsége”, hanem a leküzdhetetlen akadályok sora — amiknek valódi méreteiről ekkor még fogalmuk sincs — gátolja meg a hallás kutatóit abban, hogy a belső fül folyamataiba bepillant-
sanak. Békésy elévülhetetlen ér-

deme marad, hogy finom és szellemes kísérleteivel elsőként vizsgálja meg az aktivitásban levő belső fület. Eredményei ma is alapvetőek. Még fontosabb ennél, hogy a merész kísérletező sikere inspirálta új utak keresésére a hipotézisek ellentmondásai között megrekedt akusztikai kutatást.

Arról se feledkezzünk meg, hogy Békésy első közleménye három évvel az elektronmikroszkóp felfedezése előtt jelenik meg. A fáziskontraszt mikroszkóp, a térhatású képet adó „scanning” (pásztázó) elektronmikroszkóp, a Mössbauer-effektuson alapuló mérési lehetőségek még a jövő rejtett ígéretei. A parányi méretek vilá-

gába való bepillantásban csupán a fénymikroszkóp segítette, melynek 300—400-szoros nagyítása csak a belső fül elemeinek legvehemensebb mozgásait mutatta ki. Amit tehát a belső fül szerkezetéről az alábbiakban leírnak, a Postakísérleti Állomáson végzett első vizsgálatok idején csak részben volt ismert.

A középfülből továbbvezető két nyílásról, az ovális és kerek ablakról már volt szó. Ezek a belső fülbe érkező hanghullám be- és kilépő kapui. Mögöttük van az emberi szervezet legszívósabb, legmasszívabb képződménye, a sziklacsontról. A sziklacsontról alakította ki a természet a csiga és a három félkörös

ívjárat üregrendszerét. Egy közös csarnokból indul mindkettő belépőnyílása. Körülbelül vízsűrűségű, az agyfolyadékkal összeköttetésben álló perilympa tölti ki az üreget. A három ívjárat az ember egyensúlyi és gyorsulásérzékelő szerve. Mivel a hallásérzékelés központi szervével hidraulikai csatlásban van, valószínű, hogy a két rendszer működése között van kapcsolat. 1935-ben Békésy kísérletileg vizsgálja meg a hangingereknek az egyensúlyérzést befolyásoló hatását. Erős hang bekapcsolásakor a fej előrelendül („mintha elektromágnes vonzaná”), lebegő hang a koponya szinkronmozgását váltja ki, sőt hanginger után a kinyújtott

kar kilengése is megfigyelhető. A nagy gonddal megtervezett és végrehajtott kísérleti program csak mellékhatása a nagy biofizikus életművének, de tudósi alkatára jellemző. Rendkívüli körületekkel és alapossággal dolgozik, figyelembe véve mindazt, ami kapcsolatban lehet vizsgálódása tárgyával. Különös adottsága van az egymástól távol álló, de mégis belső összefüggést mutató jelenségek kapcsolatainak meglátására. Biztos érzéssel emeli ki a sokszor meglepő eredményeket produkáló analógiákat.

A csiga (cochlea) 35 mm-es járáthosszúságú tornyocskával mélyed a sziklacsontra. Az elnevezés

beszélő név: 2,7-szeres csavarulata valóban a csigaház belsejéhez hasonlatos. A csiga csontos tengelye a modiolus. A talpa felé szélesedik; belsejében fut a hallóideg 30 000 rostból álló, csavart kötege. A modioluson kívül egy csontos taraj halad végig, a pörgecsont. Az eddig leírt szerkezet egy csigalépcsőhöz hasonló, amelynek járófelülete a pörgecsont, de korlátja nincs. A csiga falán egy háromszög-keresztmetszetű csontos kidomborodás csavarodik végig, melynek éle párhuzamosan halad a pörgecsonttal. A két csonttaraj között feszül ki az alaphártya (membrana basilaris). Az alaphártya átmérője a csiga talpánál kb.

0,04 mm, és a csiga csúcsa felé haladva nagyjából egyenletesen szélesedik 0,49 mm-ig.

A csonttarajok és az alaphártya két részre osztják a csiga spiráljariat. A pörgecsonton azonban még egy hártya tapad meg, mely az alaphártyával 30—40°-os szöget alkotva indul a csiga belső fala irányába. Ez a Reissner-hártya. Ily módon a csiga kb. kettévágott almához hasonló belső tere három részre oszlik. Az alsó rész a kerek ablaktól indul ki. A felső az ovális ablaknál kezdődik és halad a csúcs felé. A két járat a csúcsban egy 0,25—0,4 mm² keresztmetszetű nyíláson, a helicotreman keresztül összefügg egymással. A két cson-

tos falú csatorna között halad a háromszög-keresztmetszetű belső üreg, a hártvás labirintus. Folyadék tölti ki; összetételében és sűrűségében az endolympha azonban eltér a perilymphától. A nagyobb viszkozitású folyadék gazdag káliumionokban. A perilymphában a nátriumionok vannak túlsúlyban.

A hártvás labirintus zárt üreg, mely a helicotremanál vakon végződik. A hallás szempontjából fontos képletek az alaphártván helyezkednek el. A hanghullámok a két csontos csatornán haladnak végig, az ovális ablaktól a helicotremán keresztül a kerek ablak felé. A hangérzékelés alapfolyamata viszont a hártvás csatornában játszódik le.

A háromszög-keresztmetszetű hártyás csatorna az alaphártyán nyugszik. Az üreg belsejében, a membrana basilaris mentén kígyózik végig a Corti-féle szerv. Az A betű száraihoz hasonlatosan egymásnak dőlő Corti-oszlopok tulajdonképpen újabb csatornaüreget képeznek a hártyás labirinton belül. A Corti-oszloppár pörgecsont felőli, védettebb részén foglal helyet a kb. 3600 belső szőrsejt. A másik oldalon a 14 000 külső szőrsejt támaszkodik az oszlopoknak. Ezek a sejtek a hangérzékelés folyamatának végkészülékei. Alapjuk az idegsejtekkel érintkezik. A membrana basilaris középső szakaszán milliméterenként mintegy 1100

idegsejt gondoskodik az információknak az agyi mezők irányába való továbbításáról. A szőrsejtek felső, endolymphába nyúló végén szőröcskék (cilia) sora ül. E finom csillók száma egyes sejtek esetében elérheti a 100 darabot, és három sorba rendeződve nyújtogatják érzékeny ostorszálaikat a csatornafolyadékba, illetőleg az őket érintő fedőhártya felületéhez. A ciliákat érő mechanikai hatások meghajlítják őket, és ez hozza létre azt az ingerületet, amelynek alapján a hangot érzékeljük.

Vizsgálatai megkezdésekor Békésy még vajmi keveset tudhatott csak a szőrsejtekről. Finomabb szerkezetük megismerése az elekt-

ronmikroszkóp mintegy 30 000-szeres nagyítását igényli. A szőrsejteknek a hallásérzékelésben betöltött szerepét már Helmholtz is felismeri. 1863-ban megjelent klasszikus könyve, mely széles tárgyszeretel összegli a terület fizikai, matematikai, anatómiai és élettani komponenseit, megfogalmazza a hallás első tudományos elméletét. Hatvanöt éven át feltétlenül a legökéletesebb hallásteória, mely Békésy — szintén klasszikus értékű — 1928-as publikációjáig egyeduralkodó. Alapvető tévedése azonban, hogy a szőrsejteket hangolt elemeknek tekinti. Helmholtz szerint a hallás egyszerű rezonanciajelenség, tehát a kb. 20 000 külön-

böző hangmagasság egyikének megszólalásakor az a szőrsejt kerül ingerületbe, melynek „önrezgés-száma” megegyezik az illető hangéval. Kétségtelen, hogy Helmholtz elmélete tetszetős, igen logikusnak tűnik, de sajnos téves. Hogy Békésy miként mutat rá végzetes gyengéjére, arról rövidesen beszélni fogunk.

A szőrsejtek fölé nyúlik a fedőhártya (membrana tectoria). Egyik széle rögzített, másik szabadon lebeg az endolymphában. Amikor a perilympa csatornáján végighalad egy hanghullám, kirezeg az alaphártya. A lengő hártya megemeli a szőrsejteket, és azok csillóikkal hozzáúrolódnak a fedőhár-

tya viszonylag vastag lemezéhez. Így jön létre az a mechanikai ingerlés, mely áttételek után az agyban hangérzetet vált ki.

A belső fül főbb elemeinek felsorolásával befejeztük ismertetését. A Békésy-féle halláselmélet megfogalmazásához szükség lesz még az idegrendszer bizonyos folyamatainak tárgyalására is. Ezekre majd a megfelelő helyen visszatérünk.

Az 1928-ban megjelent közlemény bevezetésében Békésy kifejti, miért nem alkalmasak a Helmholtz-féle rezonátorok a fül ismert akusztikai tulajdonságainak megmagyarázására. Az emberi fül kb. 1300 hangmagasság megkülönböztetésére képes. Ilyen nagyszámú

frekvenciát csak éles rezonátorok tudnak elkülöníteni egymástól. Az éles rezonátorok viszont lassan rezegnek be és lassan csillapodnak. Tehát több másodperc telne el, míg az adott hangot felfogó fül alkalmassá válna egy új hangmagasság érzéklésére. Viszont a közismert fiziológiai tapasztalat szerint a fül képes a 0,1 másodperc időbeli különbséggel érkező hangok elkülönítésére. A fizikai ellentmondás feloldhatatlan, így a Helmholtz-elmélet helyett más magyarázatot kell keresni a hangérzékelés mechanizmusára. Erre tesz kísérletet Békésy.

A csiga folyamatainak modellezésével már próbálkoztak mások is.

A modellek felépítése azonban nem alapult a belső fül finomabb részletekre is kiterjedő ismeretén, ezért a kísérletek eredményei eltértek az alapvető akusztikai tényektől. A fel-táru-ló csigajáratok szépségében gyönyörködő Békésy gondos vizsgálatok sorával deríti fel a cochlea szerkezetét. Meghatározza a csiga számos geometriai adatát, és valami egyszerűbb eljárással, amit ekkor még nem ír le, az alaphártyán a rugalmasság változásait is végig-méri az ovális ablaktól a helicotre-máig. Vizsgálja a perilympa sűrű-ségét, viszkozitását. Gondos hid-raulikai számításokat végez, pon-tosan beállít alapvető konstansokat, hogy a modell és a csiga hasonló-

ságát biztosítsa. A megtervezett és kivitelezett modellek mérete 2 — 5-szörösen haladta meg az emberi csigáét. A modell azonban — melyről már korábban beszéltünk — egy tulajdonságában lényegesen eltér a fülcsigától. Az ívelt járatokat a megfigyelési lehetőség javítása céljából kiegyenesítette. Az 1923-ban még interferometriával foglalkozó Békésy közben alaposan kiegészítette ismereteit a biológia, fiziológia és állattan területén is. Tudja, hogy van olyan állat, a hangyászsin, melynek csigája csaknem egyenes, és a hallása mégis kifogástalan. Ez a tény azt a reményt kelti, hogy a csiga geometriájának megváltoztatása nem fogja

lényegesen módosítani a lejátszódó folyamatokat.

A megépített modellt működésbe helyezi. A rézkeretek közti teret glicerín vizes oldatával tölti fel. A folyadékban finom eloszlású faszénpor lebeg: ennek szemcséi rajzolják ki a hidraulikai mozgásokat. A gumimembrán által kettéosztott tér felső részéhez egy elektromágnessel gerjesztett hangvilla csatlakozik. Ez táplálja be a tetszés szerint változtatható frekvenciájú rezgéseket a folyadékba. A hangvilla tehát ugyanazt a szerepet töltötte be a modellen, mint a csigán a kengyel. Az alsó térfél végén kiképezte a kerek ablak rugalmas membránnal borított megfelelőjét is.

A gerjesztés bekapcsolását követően az alaphártyát jelképező gumimembránon hullámok indulnak el a hangvillától a modell ellentétes végének (helicotrema) irányába. A hullámok szaporasága és formája a frekvenciától függ. A hullámok beboríthatók egy burkológörbével. Úgy tűnik, a burkológörbe alakja jellemzi legmarkánsabban a hangfrekvencia-változás következményeit. Mély hangoknál a gumimembrán csak a helicotrema táján jön mozgásba; a frekvenciát növelve a maximális kirezgés mind jobban eltolódik a hangvilla irányába. Megfigyelte továbbá, hogy kb. a maximális rezgés helyén egy-egy örvény képződik a gumimembrán

mindkét oldalán. E szerint tehát a hanginger behatására a csigában rezgésbe jön az alaphártya, és a perilymphában örvénypárnak kell kialakulnia.

A modell nyújtotta kép hitelességét az összehasonlító megfigyelések voltak hivatottak igazolni. Felhasználva a csiga feltárásában szerzett jártasságát, olyan preparátumokat készít, melyeknek a helicotrema felé eső végét fogorvosi fúróval nyitja meg. Az így kiképzett ablakon át rápillanthat az alaphártyára. Mivel ez áttetsző, mozgásait alumínium vagy szénpor, esetleg felaprított aranyfüstlemez ráhintésével teszi láthatóvá. A csiga folyadékának pótlása után

— a beavatkozásnál elkerülhetetlen a perilymphavesztés — az ablakot fogászati cementtel felragasztott üveglappal zárja le. A megfigyelő mikroszkóp látómezében egy-egy szénpor szemecskét állít élesre, és ennek mozgása informálja a kocsonyás állagú hártyák rezgéseiről.

A csiga alapját hasonló eljárással nyitja meg. Így a csiga 2,7 tekervényének jó részét képes megfigyelni. Az emberi fülpreparátumban is a modellenél alkalmazott módszerrel gerjeszt rezgéseket. A hallócsontok közül meghagyja a kengyelt, és ennek végéhez erősíti a vibrátort. Békésy a modellen igen nagy gerjesztőenergiákat al-

kalmazott; az élő fül fájdalomküszöbét 10 decibellel meghaladó intenzitást. A fülpreparátumok nem mindig állták a gyötrést; a kísérleteknél a kengyel gyakran kiszakadt az ovális ablakból. Az ilyen „üzemzavarok” elkerülésére a későbbiekben eleve hidraulikus úton, egy cső közvetítésével és a kengyel kiiktatásával vezeti be a csigába a rezgést.

Az igen gondos munkát igénylő preparátumok elkészülnek, és Békésy észlelni kezdi a modellel azonos módon gerjesztett csiga mechanikai folyamatait. A siker teljes. A modellen megfigyelt jelenségek szinte változatlanul játszódnak le a fülpreparátumon. Kis frekvenciájú gerjesztésnél csak a

helicotrema körül rezeg az alaphártya. A hangmagasság fokozatos emelésével a kirezgésmaximum visszahúzódik a kengyel felé. Egészen nagy frekvenciáknál csak a kengyeltalp közelében leng ki a bazilármembrán.

A tudománytörténeti tárgyilagosság megkívánja, hogy megemlítsük: nem Békésy pillantja meg elsőként az alaphártya rezgéseit. R. Ewald már 1914-ben feltárja egy tengerimalac csigáját, és az alaphártyán álló hullámokat észlel. A strasbourgi egyetem professzora azonban nem megy túl az alapjában véve téves megfigyelés publikálásán. Békésy ismeri Ewald eredményeit; a kísérleti berendezés

igen szűkszavú leírása azonban semmi támpontot nem ad saját eszközei összeállításához. A magyar akusztikus kutatásai tehát előzmény nélküliek, nem továbbfejlesztet, hanem önállóan alkot meg egy eredeti, sziporkázóan ötletes kísérleti metodikát. A belső fül mechanikai működéséről megalakított új kép teljes mértékben a saját eredményeinek összefoglalásán alapul. „Valóban a természet volt, amely kigondolta a bonyolult, tekervényes hallásátalakítót, és beásta mélyen a legkeményebb csontba, az ember testébe, de Békésy olyan ügyes és gyakorlott szakértelemmel hatolt be a legrejtettebb zúgába, és állapította meg

működési elveit, hogy úgy látszik, a modern fül valójában inkább Békésy találmánya, mint a természet nyugodt fejlődéséé” — mondja 1961-ben Stevens az Amerikai Akusztikai Társaság ülésén.

A siker titka nyilván abban keresendő, hogy a fiziológiai akusztika számára 1928-ban ő a „sors embere”. Egyesíti személyében az alapos fizikai tudást, a finom megmunkálási eljárások terén a „nagyon öreg és nagyon precíz” berni mestertől szerzett szakértelmet, valamint az anatómia és fiziológia területén megszerzett széles körű ismereteket.

A kétségtelenül jelentős siker elenére Békésy már ekkor érzékeli

fülmodelljének egy olyan gyengéjét, melyet jogosan tesznek majd kritika tárgyává. A megfigyelt haladó hullámok maximumának helye eltolódik ugyan a frekvencia változásával, csak hogy ez a hullámhegy igen lapos. Olyannyira, hogy ilyen lapos maximummal az alaphártya kiváló frekvenciaelkülönítő készségét aligha lehet megmagyarázni. Nyilvánvaló, hogy az egyes frekvenciák érzékelése a bazilármembrán jól definiált pontjaihoz van kötve. Amikor a maximum egy kiszemelt helyen jelentkezik, a szőrsejteket beidegző pályák továbbítják a hangmagasságot tartalmazó információt az agyba. Ám a szomszédos, a kisebb és

nagyobb frekvenciát érzékelő helyek végkészülékei majdnem azonos nagyságú fizikai ingert kapnak. Miért tudatosul az agyban kizárólag a maximumhely hangmagassága, és a hallásmezőbe vezető idegpálya melyik szakaszán vesznek el a szomszédos helyek jelzései?

A jelenségre Békésy két magyarázatot talál. Egyrészt az örvények „egyennyomásának” tulajdonítja az éles frekvenciaelkülönítés fellépését. Az örvénypárnak az alaphártyára gyakorolt nyomása valóban jóval kisebb területre korlátozódik, és így az ingerlés jobban körülhatárolt. Az örvény nyomásának létezésére és nagyságára vonat-

kozóan kézzelfogható tapasztalatai voltak: a 140 decibel erősségű gerjesztés számos esetben átlyukasztotta a modell gumimebránját, és a preparátumokon a bazilármembránt. (A fülmodellnek az emberi füllel való „összehangolását” éppen ilyen átlyukasztási kísérletek sorával végezte el.) A mikroszkópon át lefényképezett membránfelületeken igen élesen körülhatárolt a roncsolás, tehát az örvények hatása valóban kis területre korlátozódik.

A másik magyarázatot szakirodalmi forrásokból veszi. A „minden tudás a könyvekben van” elvét kiválóan alkalmazza, és nyilván elolvas minden, témájával kapcso-

latos és fellelhető közleményt. Ismeri Mach 1865-ös akadémiai székfoglalóját, amelyben a róla elnevezett kontraszttörvényről értekezik. Az alapkísérlet igen egyszerű. Helyezzünk egymás mellé három egyforma, azonos anyagból készült téglalapot. A bal oldali megvilágítása egyenletes. A középsőé a bal-széltől a jobbig egyenletesen nő. A harmadik megvilágítása ismét egyenletes, és azonos mértékű a középső lap jobb szélén jelentkező maximális felületi fényességgel. A megvilágítás — a fizikai inger — egyenletesen, lágy átmenettel változik az érintkező felületek mentén. A szemben, pontosabban az agyban jelentkező fényérzet azon-

ban ettől markáns eltérést mutat. Az első és második lap érintkező éle mentén egy csíkot látunk, mely lényegesen sötétebb környezeténél. A második és harmadik lap választóvonalánál pedig a jobban megvilágított téglalaphoz képest a sötétebb csík jelentkezik. A Mach-féle kísérlet jól szemlélteti, hogy érzékszerveink tudati válaszai esetenként függetlenítik magukat az objektíve mérhető fizikai ingerek mérőszámaitól.

A Mach-féle kontraszttörvényt a hanginger és a hallásérzet kapcsolatára alkalmazva Békésy képes az egymástól csak kissé eltérő frekvenciák hallásmezőbeli diszkriminációját megindokolni. A grafikus

megjelenítés lehetősége nem áll rendelkezésünkre, így csak vizsgálatainak végeredményét tudjuk közölni. Két egyszerre megszólaló hanginger úgy összeolvadhat, hogy fizikai szemléletünk alapján egyetlen hangmagasság észlelését váránánk. Az érzet azonban két helyen mutat éles kiugrást, így a két hangot elkülönítve halljuk. A kontraszt törvény alkalmas ugyan egy ellentmondás áthidalására, azonban — és ezt maga Békésy is egyre világosabban látja — nem valódi magyarázat. A Mach-jelenség „a fizioológiában ez így van, és ezt vegyük tudomásul” jellegű ténymegállapítás. Az optikai kontraszt analógiájának a hallásfizioológiára

való átvitele azonban korántsem ad választ a „miért van így?” kérdésre. Ezért Békésy későbbi munkáiban újra és újra visszatér a frekvencia, illetve tágítva a kört: az érzetelkülönítés kérdésére.

A csiga mechanizmusának működéséről — Magyarországon végzett kutatásai alapján — még két további összefoglaló jellegű közleményt publikál. Mint életrajzában említettük, a Svéd Fülorvosi Társaság meghívására Stockholmban előadást tart „a hallás mechanikai-akusztikai folyamatai”-ról. Az elmondottakat az Acta Oto-Laryngologicában teszi közzé, egy kétrészes tanulmányban. A cikk igen értékes összefoglalását adja Békésy

másfél évtizedes munkásságának; ebből azonban csak a belső fülre vonatkozó részt emeljük ki.

Beszámol azokról az egyre finomodó preparatív és mérés technikával végzett kísérletekről, melyekkel újólag megvizsgálta a fülkészítményeken kialakuló rezgéseket. Foglalkozik azokkal a kritikai észrevételekkel, melyek a rendkívül nagy hangerősségek alkalmazásával nyert eredményeknek az egész hallástartományra való kiterjesztését kifogásolják. Emlékeztetünk arra, hogy Békésy az emberi fül által érzékelhető hangerőt egy nagyságrenddel meghaladó gerjesztést alkalmazott. Az alaphártya kirezgése még így is csak 3 mikron

($3 \cdot 10^{-6} \text{m}$) nagyságú, tehát épp a mikroszkópos megfigyelhetőség határán van. A haladó hullámokat gyengébb gerjesztésnél nem észlelhette volna. A haladóhullám-elmélet védelmében elmondja, hogy a hallás alapjelenségeire vonatkozó észlelések szerint minden lényeges folyamat egyformán játszódik le az alsó hallásküszöb és a felső halláshatár között. Így az extrapolálást megalapozottnak tartja. Ez természetesen csak logikai érv, és nem természettudományos bizonyíték. Békésy intuíciója azonban csalhatalan biztonsággal lép túl a fiziológia mérés technikai korlátain. A bazilármembrán mozgásainak modern módszerekkel történő kimé-

réséről Tonndorf 1977-ben közöl egy részletes összefoglalást. Megállapítása szerint Békésy harmincnolc évvel korábban közölt adatai lényegében helytállóak. Igaz, hogy az új módszerek pontosabbak; de a haladó hullám felfedezéséhez — amely a vizuális megfigyelésnél közvetlenül szemlélhető volt — nem vezettek volna el.

Az alaphártyán bekövetkező frekvenciaelemzést illetően felfogása 1939-re már némileg megváltozik. A csigában — írja — csak durva hangmagasság-elkülönítés következik be. Megemlíti ugyan a Mach-féle kontraszttörvényt, de annak pusztán ténymegállapító jellegét nem találja kielégítőnek.

Hozzáteszi: „A további frekvenciaanalízis az idegrendszerben következik be, és ezt a folyamatot jelenleg még nem ismerjük eléggé.”

Kiemelkedő jelentőségű *Az emberi csigában bekövetkező frekvencia felbontásról* szóló közleménye. Az 1944-ben megjelent dolgozat mintegy végső összefoglalása magyarországi munkásságának. A csigában lejátszódó mechanikai folyamatokról ennél lényegesen többet már a Harvardon folytatott kutatásai sem eredményeznek. Másrészt a csigára vonatkozó ismereteket kritikailag feldolgozó és értékelő Békésy előtt kirajzolódik a jövő programja. A halláselmélet

nyitott kérdésein töprengve meglátja azokat a kutatási irányokat, melyek művelésén életének utolsó szakaszáig dolgozni fog.

Rámutat arra, hogy a fiziológia általános fejlődésétől az érzékszervek működésének kutatása elmaradt. A vitatott kérdések legnagyobb része száz éve tisztázatlan már. A jelenség okát abban véli meglátni, hogy a fizikai mérési eljárások nem hatoltak be az érzékszervek működésének kutatásába. Az élettan művelői legtöbbször orvosok vagy biológusok. A nyitott problémák előttük világosan kirajzoltak. A jelenség kimérésére alkalmas műszerek megválasztásában és alkalmazásában azonban

járatlanok. A fizikus vagy mérnök számára viszont az élettani oldal ismeretlen. A két különböző szakterület művelői ritkán találják meg a közös nyelvet.

A Helmholtz-elmélet trónfosztását követően azok a hallásteóriák kezdenek terjedni, melyek minden frekvenciaelemzést az agyi mezők tevékenységének tulajdonítanak. Kétségkívül, igen kényelmes a halláselmélet megoldatlan problémáit olyan funkciók működési körébe átutalni, melyekről még alig tudunk valamit. Békésy azonban felteszi azt az igen logikus kérdést, hogy miért oly bonyolult anatómiai felépítésű a csiga, ha a frekvenciaelkülönítés teljes munkáját az

agy idegsejtjei végzik. Álláspontja 1939-hez viszonyítva még élesebben körvonalazódik: a hangmagasság-elemzést a csiga előfelbontása és a felső idegpályák együttes tevékenysége eredményezi.

Ez a cikk tartalmazza a csiga vizsgálatára vonatkozó eljárásainak legrészletesebb leírását. Megtudjuk belőle, hogyan olvaszt $0,01\text{ mm}$ átmérőjű üvegszál végére gömböt, és az alaphártyára jól definiált nyomást gyakorolva, miként méri ki annak rugalmas tulajdonságait. Abból a megjegyzéséből, hogy a hajszál is alkalmas erre a célra, következtethetünk 1928-ban elvégzett mérésének módszerére. Közli a mikroszkóp alatt boncolt alaphár-

tya anatómiai szerkezetére vonatkozó megfigyeléseit. A bazilármembrán rezgéseit már nem ablakon át, hanem víz alá merített cochleán figyeli meg. Az immerziós mikroszkóp tárgylencsáját a megnyitott járat fölött süllyeszti a folyadékba. Az elrendezés megóvja a preparátumot a kiszáradástól, és a megfigyelt hullámjelenségek feltehetően ugyanúgy játszódnak le, mint az élő fülben. Az áttetsző hártyákat ezúttal finom ezüstkristályok ráhintésével teszi láthatókká. A kísérleti elrendezés módosításával a gerjesztő hanghullámokat először a kengyel, másodszor a helicotrema irányából lépteti be a csigajáratba. Meg-

lepő eredményt kap: az alaphártya teljesen azonos rezgésformát vesz fel az ellentétes irányú gerjesztéseknél!

A csiga szerkezetéről és rezgéseiről szerzett kiegészítő ismeretek birtokában újra megépíti csigamodelljét. Ezúttal több változatot készít el, és az örvénypár keletkezési helyének eltolódását vizsgálja. Az örvénypár jelentkezési pontját sem a kerek ablak elzárása, sem az ovális ablak bemenő ellenállásának változása nem módosítja. Próbálkozik a membránfal eltolásával, ily módon két különböző magasságú csatornára osztva szét a csigamodellt. A csiga belvilágát módosítva harmincszorosára növeli

mindkét járat átmérőjét. A beavatkozások nem változtatják meg a makacs örvények képződési helyét. Végül a gerjesztés bevezetési pontjának áthelyezése sem okoz semmi változást. A számos mérés arra mutat, hogy az 1928-ban megalkotott eszköz hidraulikai szempontból jól modellezi az emberi csiga folyamatait.

A kísérletek sorát felvonultató és eredményeit elemző Békésy ismertet egy olyan modellt, ami az olvasóban különös gondolatokat ébreszthet. Három mikroszkóptárgylemezből és két zsilettpengéből szerkesztett eszközzel a félcsga modelljét készíti el. Jóllehet az eszköz demonstrálja, amit kell, lehe-

tetlen fel nem tennünk a kérdést: az ilyen primitív eszközökhöz folyamodó Békésy nem érkezett-e el lehetőségeinek határához? Nem tehetsége korlátait érte el, hiszen éppen kísérletező invenciója kimeríthetetlenségét mutatja, hogy ilyen egyszerű eszközökkel is tud elérni eredményt. Valószínűnek látszik azonban, hogy a Postakísérleti Állomás és az egyetem kutatólaboratóriumai már nem nyújtanak lehetőséget új, a Békésy-halláselmélet tisztázatlan kérdéseit vizsgáló, bonyolult berendezések építésére.

A Nobel-díjat — az indokló rész szerint — „a fül csigájában létrejövő ingerület fizikai mechanizmusának felfedezéséért” kapta meg.

További munkásságát áttekintve látni fogjuk, hogy a hallás természetét illetően még számos eredménnyel gazdagítja a tudományt. A cochlea mechanikai folyamataira vonatkozó alapvető eredményeit azonban Magyarországon érte el. Békésy tehát azon ritka kivételek közé tartozik, aki a rangos tudományos elismerést idehaza végzett kutatásai alapján nyerte el.

A Postakísérletinél töltött két évtizedet élete leggazdagabb, legtermékenyebb szakaszának minősíti. Az előzőekben csupán azoknak az eredményeknek az összefoglalására törekedtünk, amelyeket az emberi csiga kutatásának terén ért el. Hamis képet adnánk azonban a hatal-

mas tudományos életműről, ha legalább röviden fel nem sorolnánk azokat a jelentősebb felfedezéseket, amikkel Békésy gazdagította a fiziológiai akusztikát.

A fül egyik jellemző tulajdonsága, hogy tartós hangbehatás csökkenti az érzékenységet, megemelkedik a hallásküszöb. Ezt az érzékenységcsökkenést fáradásnak nevezzük. A jelenséget 1929-ben tanulmányozza Békésy, és érdekes eredményeket kap az alaphártya ingerlokalizációs képességére vonatkozóan. A kísérletnél alkalmazott 800 Hz frekvenciájú, meglehetősen nagy intenzitású hang ugyanis nemcsak azon a helyen fárasztja az idegvégkészülékeket,

ahová ennek a rezgésnek az ingerfelvevő helye esik. A szomszédos, tehát pl. a 790 és 810 Hz-nek megfelelő érzékelési helyek is fáradnak. Ez nyilvánvaló következménye a bazilármembrán meglehetősen lapos maximumokat mutató hullámformájának, hiszen ezeknek a pontoknak a kirezgése alig kisebb a 800 Hz frekvenciájú inger központjától.

Ha a következő kísérletben 810 Hz gerjesztést alkalmaznak, az alaphártya megfelelő helye — kifáradása miatt — kisebb idegerzetet továbbít, mint pihent állapotban. A nagyobb frekvenciának, mondjuk 820 Hz-nek fogadására alkalmas hely viszont kevésbé fárad

el, azért innen erősebb hangérzet továbbítódik, mint a 810 Hz-re „hangolt” idegsejtekből. Mindennek természetes következménye, hogy a valójában 810 Hz-et 10 Hz-cel magasabbnak halljuk. A 790 Hz frekvencia esetében ellentétes irányú érzeteltolódás következik be. A kísérletnél észlelhető hangmagasság-emelkedés, illetve -süllyedés közvetett bizonyítéka annak, hogy a bazilármembrán mentén folyik le az elsődleges frekvenciaszétválasztás. Látszik természetesen az is, hogy ez a frekvenciaelemzés meglehetősen durva.

Foglalkozik az irányhallás jelenlétével is. Arra a következtetésre

jut, hogy a hangforrás lokalizálását
fülünk annak az időkülönbségnek
az alapján végzi el, mellyel a két
fület a hanghullámok elérik. Az
irányhallásnak tehát csak az egyik
összetevőjét vizsgálja. Az 1930-ban
végzett kísérletek során az idő-
különbséget meglehetősen egysze-
rűen hozza létre: két különböző
hosszúságú csövön juttatja a ger-
jesztő hullámokat a jobb, illetve
bal fülbe. A hangforrást azon az
oldalon észleljük, ahová a hang
hamarabb érkezik meg. A kísér-
letek előrejelzik Békésy érdeklődé-
sét egy olyan terület iránt, mely-
nek művelésével a későbbi évek-
ben sokat foglalkozik. A Harvar-
don és Hawaiiiban ismételtén vissza-

tér majd az érzékszervek iránymeghatározó képességének vizsgálatára.

A hang a belső fülbe a légvezetésen kívül csontvezetés útján is eljuthat. A rezgések közvetítésében a koponya csontjai játszanak döntő szerepet. E területen végzett kutatásai tisztáznak egy régóta nyitott kérdést. Szellemes kísérlettel kimutatja, hogy a csontvezetés útján érkezett hangot egy ellenkező fázisú, légvezetési hang teljesen kioltja. Kétségtelen tehát, hogy a csontok útján érkező rezgés ugyanolyan jellegű hullámmozgást kelt a csigafolyadékban, mint a kengyel felől belépő. Azon túlmenően, hogy a cochleában lejátszódó hidraulikai folyamatok ter-

mészetére vonatkozóan közvetett bizonyítékot kapott, eldöntött egy elvi kérdést. A kiolthatóság ténye kétségtelenné teszi, hogy a csontrezgések nem közvetlenül ingerlik az idegvégződéseket.

Már említettük, hogy a Postakísérleti Állomáson töltött húsz évet maga Békésy minősíti élete legtermékenyebb szakaszának. Alkotóereje sokoldalú megnyilatkozását szemléltetik az eddig elmondottak; magyarországi kutatásainak összefoglalása azonban kitenne egy külön kötetet. A teljes körű számbavétel igénye nélkül felsoroljuk még néhány lényeges eredményét.

Megvizsgálja a mechanikai frekvenciaelemzés lefolyását öt külön-

böző állatfaj csigájában. Arra a következtetésre jut, hogy a tengerimalac, tyúk, egér, szarvasmarha és elefánt cochleájában épp olyan rezgésformákat vesz fel az alaphártya, mint az emberi fülben. Megméri a dobhártya részleges hiánya következtében előálló hallásveszteség mértékét. Kutatja, miként változik a légvezetés és a csontvezetés hatásfoka, ha a középfülben a normális légkörítől eltérő nyomást hoz létre. A csontvezetés abszolút hallásküszöbének mérésére a piezoelektromos hatást felhasználó kísérleti berendezést épít. Foglalkozik a fülben előálló felhangok keletkezési helyének meghatározásával, és kizárja azt a lehe-

tőséget, hogy a szubjektív felhangok a dobhártyán jönnek létre. Világviszonylatban az elsők között figyel fel az infrahang fiziológiai hatásaira, és kísérletek sorával vizsgálja, hogyan terjed az alacsony frekvenciájú rezgés az emberi testben. Publikációiban jelentős teret szentel az alkalmazott akusztikának; foglalkozik többek között a zeneközvetítésekre épített rádióstúdiók tervezési kérdéseivel.

A CSIGA ELEKTROMOS FOLYAMATAI. MÁS ÉRZÉKSZERVEK VIZSGÁLATA

Bár elektroakusztikában járatos, sőt azzal hivatásszerűen foglalkozó kutató, a cochlea elektromos folya-

mataira közel tíz éven át nem fordít különösebb figyelmet. Pedig nagy jelentőségű megfigyeléseivel majdnem egy időben, 1930-ban Wever és Bray nagy feltűnést keltő vizsgálati eredményekről ad számot. A kísérleti alanyul használt, altatott macska fülcsigájáról olyan potenciálingadozást vezetnek el, mely meglepő hűséggel reprodukálja a szendergő állat fülébe mondott szavaknak még a hangszínét is. A látványos kísérletek során a csigába és a nyakizomba ültetett elektródák kivezetéseit erősítő be-
rendezésre kapcsolják, és megfelelő feszültségerősítést alkalmazva, hangszórót szólaltat meg a macskafül által felvett inger. A termé-

szetes mikrofon frekvenciaátfogása meglepően nagy: mintegy 13 000 Hz-ig viszi át a magas hangokat.

A feszültségingadozást először idegakciós tevékenységnek tulajdonítják. A magas felső frekvenciahatár azonban az idegi eredetet kizárja; ugyanis a fiziológusok ismeretei szerint a több együttműködő rostból álló idegpályák impulzussorozata sem haladhatja meg a másodpercenkénti 5000 kisülést. Kiderül, hogy az elvezetett feszültség két komponensre bontható. Az ún. mikrofonpotenciál a cochlea mechanikus működésével van kapcsolatban, erre a rezgésre szuperponálódnak azonban az ingerelt hallóideg áramai is. A szerve-

zet halálának pillanatában az idegek működése azonnal megszűnik, a mikrofonáram viszont akusztikai inger nyomán még hosszabb-rövidebb ideig jelentkezik.

Békésy 1936-ban egy összefoglaló cikkében részletesen foglalkozik a hallás elektromos jelenségeivel. A közleményben régebben publikált eredményeinek summázatát adja, továbbá viszonylag nagy terjedelemben tárgyalja „a csiga bioelektromos jelensége”-it és az „idegáramok”-at. Az irodalmi hivatkozások egyértelműen jelzik, hogy ismeri Bray, Wever, Davis és Stevens legújabb kutatásainak eredményeit, maga azonban még nem kezdett hasonló kísérletekbe.

Ezúttal is kiváló érzékkel fedezi fel a távolálló jelenségek közti kapcsolatot. Azonnal meglátja, hogy az alaphártya frekvenciaelkülönítő képességét igazolják az elektromos megfigyelések. Ugyanis fokozatosan emelkedő magasságú hangingert alkalmazva, az elektromos válasz jelentkezési helye a csiga csúcsától az alap felé tolódik el. Észreveszi azt is, hogy a hallható minimális hangnyomás grafikonja rendkívüli hasonlóságot mutat a kerek ablakról elvezetett feszültségekből megszerkesztett görbéhez.

Valószínű, hogy Békésy már ekkor felismeri a mechanikai és elektromos folyamatok közötti össze-

függés fontosságát. A Postakísérleti Állomás főmérnöke közöl ugyan az elektrotechnika tárgykörébe vá-
gó kutatási eredményeket, érdekes
módon azonban a csiga elektromos
jelenségeit egyelőre nem vizsgálja.
Feltehetően a mechanikai folyama-
tok elemzésétől még további jelen-
tős eredményeket remél. Valóban,
a végsőkig finomított preparatív
technikát és megfigyelésmetodikát
a következő évtized során ala-
kítja ki.

1952-ben kezdi meg a fül ener-
giamérlegére vonatkozó vizsgálá-
sait. Mint a csiga mechanikai folya-
matainak legkiválóbb ismerője,
kétségtelenül látja, hogy ennek a
bonyolult erőátviteli rendszernek

a működését tetemes energiavesztés kíséri. Az idegi folyamatokat elindító utolsó történés a szőrsejtek csillóinak a meghajlítása. E csekély mechanikai munka azonban aligha elégséges az idegi oldalon megjelenő elektromos energia előállításához. Mint majd látni fogjuk, Békésy épp ez idő tájt mutat ki olyan potenciálkülönbségeket a fülben, melyekről a hallásfiziológusoknak korábban nem volt tudomásuk. Mérési adatai kiindulási alapot szolgáltatnak az energiamérleg kvantitatív vizsgálatához.

A fül hanghullámmal történő ingerlésénél természetesen nem gondolható ki olyan mérési eljárás, mely alkalmas lenne a csillók meg-

hajlításánál végzett munka meghatározására. Az ötletes és a csiga feltárásában nagy jártassággal bíró Békésy a mérhető nagyságú mechanikai inger létrehozására igen egyszerű módszert talál. Tengerimalac megnyitott cochleájába 0,05 mm átmérőjű vasgolyót operál be. A parányi fémszemcsét a vízszintes helyzetbe hozott Reissner-hártyára helyezi, melynek 10^{-3} cm-nyi behajlása és a golyó ismert súlya lehetővé teszi a befektetett energia meghatározását. A csiga fölé elektromágnes pólusát állítja oly módon, hogy az áramkör zárásakor a vasgolyót megemeli, megszakításkor visszaejti a mágnes. Az inger egyenértékű az

akusztikai hatással, és nagysága kvantitatívan is meghatározható. A megjelenő elektromos energiát ellenállás- és feszültségmérés segítségével tudja megállapítani.

A rövid ismertetés természetesen nem ad számot a kísérlet kivitelezésének nehézségeiről. Nagy gondot fordít a miniatűr golyók minél tökéletesebb gömbalakjának kiformálására, hogy a Reissner-hártyára szimmetrikus nyomást gyakoroljanak. Nem volt könnyű feladat a megfelelő helyre való lesüllyesztésük sem; a felületi feszültség ugyanis az első kísérleteknél a vasgolyókat lebegve tartotta a perilympa felszínén. Biztosítani kellett továbbá, hogy a mág-

nestől megemelt golyót kioldva, az a hártya azonos helyére hulljon vissza. Vizsgálta azt is, hogy a mechanikai inger valóban egyenértékű-e a haladó hullámú gerjesztéssel.

A nagy gonddal végrehajtott kísérleten alapuló számítások kimutatják, hogy az elektromos energia nagyobb a befektetett mechanikai munkánál. Az eredmény alapján vezeti be a más területen már korábban kialakult triggerhatás fogalmát. A puska ravaszának (trigger) meghúzása sokkal nagyobb energiát szabadít fel a befektetettnél. Ennek a szemléletes hasonlatnak a segítségével magyarázza meg a csigában lejátszódó

mechanikai és elektromos folyamatok kapcsolatát. A hangenergiának a csillókon megjelenő maradéka csak ezeknek a fiziológiai kapcsolóknak a működtetésére szolgál. Az idegi oldalon megjelenő elektromos energia lényegesen nagyobb a mechanikainál; nyilvánvalóan nem származtatható az utóbbi átalakulásából. Azok a biológiai galvánelemek állítják elő, melyek a csigában folyamatosan elektromos energiát termelnek. A szőrsejtek tevékenysége csupán modulálja ezt az áramot, körülbelül úgy, mint a trióda rácsára vitt rezgés vezérli az anódáramot.

A fülben lejátszódó elektromos folyamatokra vonatkozó ismere-

teinket 1952-ben egy igen lényeges részlettel egészíti ki. Megállapítja, hogy a váltóáram jellegű mikrofonáramon és az idegek működését kísérő akciós áramon kívül a csigában egyenfeszültség is kimutatható. Tengerimalac cochleáját a kerek ablak mellett, valamint az ovális ablak szomszédságában fúrja meg. A bevezetett elektródák között 20 mV-nyi, mintegy fél órán át állandó szinten maradó feszültséget mér. Ezután a kerek ablakon át egy vékony üvegtűt épít az alsó csigajáratba. Míg a tű hegye az alaphártyát nem érinti, a feszültség változatlan. A mikromanipulátorra erősített tűt fokozatosan az alaphártyába mélyesztve az egyenfe-

szültség megváltozik, és a különbség nagysága a bazilármembránra gyakorolt nyomással mutat arányosságot. A tű mozgásának megszűntével a módosult feszültség állandó szinten marad, a nyomás megszűnése után pedig helyreáll az eredeti feszültség.

Tanulmányozza a potenciálkülönbség oxigénhiány következtében beálló csökkenését; valamint észreveszi, hogy erőteljesebb tűnyomás sérülést idéz elő az alap-hártyán, és ezt újabb egyenfeszültség jelentkezése kíséri. A roncsolás előidézte feszültség tartósan állandó, és oxigénelvonásra alig reagál.

A csiga egyenfeszültségeit több irányban is kiméri. A mozgó elekt-

ródát fokozatosan a csiga csúcsa felé tolja el, és a potenciálkülönbségeket végigméri a helicoptremáig. Különösen érdekes eredményt kapott, amikor egy mérés során az indifferens elektródát a felső csigajáratba ültetve először az endolympha, másodszor a Corti-féle szerv irányában határozta meg a feszültségkülönbséget. Az előbbi két pont között $+80$ mV, az utóbbiak között -80 mV feszültségkülönbséget mért. Az eredmény azért meglepő, mert a két teret, melyek között az összesen 160 mV potenciálkülönbség tartósan fennáll, a nevének megfelelően rendkívül vékony hálópártya különíti csak el. Amennyiben az

arányokat makroszkópos hasonlaltal kívánjuk szemléltetni: a 100 000 V potenciálkülönbségű vezetőket elválasztó 1 cm vastag szigetelőben alakulnak ki olyan viszonyok, mint a hálópártyában. Megjegyezzük, hogy Békésy 1960-ban végrehajtott elektrofiziológiai méréseit ma is alapvetőnek tekinti az orvostudomány.

A szűkszavú leírás természetesen nem ad számot az alkalmazott kísérleti technika finomabb részleteiről. Az értékelhető adatok észlelése előtt pl. gondos mérések sorával kellett kiszűrnie a tényleges potenciálviszonyokat meghamisító hatásokat. A mérőelektrodákat ugyanis elektrolitszerű, és erősen

különböző szövetnedvekbe implantálta. A valódi feszültségkülönbségeket módosító másodlagos folyamatokat az elektródák körültekintő megválasztásával küszöbölte ki.

Nem tértünk ki arra a rendkívül szemléletes kísérletre sem, melyek során az egyik elektródát a felső csigajarat endolymphájában tartva, a másikkal fokozatosan átdöfi a Reissner-hártyát, a Hensen-, a Claudius-sejteket, majd magát az alaphártyát is, és behatol az alsó csigajarat folyadékába. A feszültségváltozásokat szakaszosan mérve, mintegy elektromosan szelvényezi a csiga-válaszfal képleteit. Az oda-vissza felvett számos „szel-

vénykép” sok érdekes információt szolgáltatott.

A mért egyenfeszültséget a későbbiekben több komponensre bontják fel. Békésy vizsgálata ezúttal is a kutatások sorát indítja el. A feszültségeket létrehozó biokémiai folyamatok megfigyelése és a jelenség értelmezése számos fiziológusnak ad munkát a következő évtizedekben. A csiga egyenfeszültségének eredete minden részletében még napjainkban sem tisztázott. A mikrofonáram forrását Békésy a szőrsejtekben jelöli meg, és nagyságát az alaphártya kitérésével véli arányosnak. Megállapítását az elmúlt két évtized eredményei csak annyiban módosítják,

hogy ezt a feszültséget a hallásfi-
ziológusok kizárólag a külső szőr-
sejtektől származtatják.

Békésy életének utolsó évtize-
deit egy szétágazó és számos pon-
ton újra találkozó kutatási prog-
ram tölti ki. Emlékeztetünk arra,
hogy az alaphártya frekvenciael-
különítő képességét már 1944-ben
sem találta elegendő alapnak a hal-
lásmezőben tapasztalható finom
felbontás megmagyarázására. Az
ötvenes évektől kezdődően egyre
több kísérletet végez az idegrend-
szerben lejátszódó érzettovábbítási
folyamatok tanulmányozása céljá-
ból. Egy 1957-ben publikált cik-
kében fejti ki részletesen az ún.
oldalirányú gátlásnak a hallásban

betöltött szerepére vonatkozó nézeteit.

A fogalom megértéséhez tudnunk kell, hogy az ingert felvevő idegvégkészülékekből az agy felé tartó idegszálak mintegy párhuzamosan futnak egymással. Szemeljünk ki az érzékelők közül hármat, és tételezzük fel, hogy a pontszerűen jelentkező ingerlés a középsővel áll szemben. A legerősebb jelzést tehát ez fogja szállítani, míg szomszédai csak gyengébb ingert továbbítanak. Az idegpályák azonban oldalirányban is összeköttetésben vannak egymással, és ezek a kapcsolódások úgy ismétlődnek meg, mint létra szárai között a fokok. A középső ideg-

rost a kapcsolódási pontokban oldalirányú jelzést is továbbít a szomszédos pályáknak, és ezek az impulzusok gátolják a gyengébb jel továbbhaladását. A végeredmény az lesz, hogy néhány oldalirányú tiltó jel után a két szélső pályán teljesen megszűnik az ingertovábbítás, és az agyba csak a középső végkészülék jelzése fut be. Az agyi mezőben megjelenő végső érzetkép tehát lényegesen különbözik az érzékelő idegvégződések szemlélhető ingereloszlástól.

Békésy tudja, hogy ez így van pl. a szem ideghártyájának esetében. Amennyiben ugyanígy működnek a szőrsejtek alapjától az agy felé tartó idegpályák oldal-

irányú kapcsolódásai, teljes mértékben megérthető, hogy az alap-hártya szintjén még durván elkülönített frekvenciák miként hasadnak élesen elhatárolt magasságérzetekre a hallásmezőben. *Sensory Inhibition* (1967) c. könyve kétségek kívül tanúsítja, hogy ekkor már foglalkozik a szőrsejtek oldalirányú összeköttetésének vizsgálatával. Ám a cochlea méreténél és elszigeteltségénél fogva sajnos végképp alkalmatlan a felszálló jelzések sorsának követésére. Erre még a parányi méretek világának olyan virtuóz kutatója sem képes, mint Békésy. Szerencsére, az érzékszervek egy része hozzáférhető nagyobb méretű eszközök számára,

és megtalálhatók az inger keltette érzet követésének módszerei.

Először a bőr érzékelésében próbál modellt találni a hanginger továbbítására. Az analagon folyamat kiválasztását indokolja, hogy a bőr és az alaphártya anatómiai szempontból rokonságot mutat. Továbbá mindkettő alkalmas a mechanikai rezgés felfogására, és a bőr „legjobb ingere”, a 200 Hz frekvencia, csak egy nagyságrenddel tér el a 3000 Hz rezgésszámtól, melyre legérzékenyebb a fül. A továbbiakban vizsgálja az ízlelés, valamint a szaglás működésének törvényszerűségeit is. Mindhárom szervnél ki tudja mutatni az irány-érzékelést. Emlékeztetünk arra,

hogy az irányhallásra vonatkozóan már a Postakísérleti Állomáson széles körű kutatásokat végzett. A téma visszatérése a Harvardon és Honoluluban nem egyszerű ismétlődés, hanem egy magasfokú szintézis bekövetkezését jelzi. „Az eredmények sohasem elégitettek ki, de most úgy látszik, hogy maguktól egyetlen végeredménybe torkollnak. Mindinkább világossá válik, hogy az oldalirányú gátlás minden érzékszerv közös tulajdonsága, és nem csak a retina sajátossága. Ez természetes következménye az idegrostok oldalirányú kapcsolódásának” — írja 1966-ban.

Az irányérzékelés ugyanis — bármely szervről legyen is szó —

karakterisztikusan jelzi az oldalirányú gátlás jelentkezését. Az ízlelést vizsgálva a nyelv két különböző pontján kelt édes érzetet úgy, hogy az érző szemölcsökhöz jobb oldalon néhány milliszekundum késleltetéssel érkezik a cukoroldat.

A vizsgálat alanya úgy érzi, hogy az édességérzet csak nyelve bal oldalán jelentkezik, holott a végkészülékek mindkét oldalon ingerlés alatt állnak. Egyoldali érzet figyelhető meg akkor is, ha az egyik vezetéken nagyobb koncentrációjú oldat érkezik. A végeredmény mindkét esetben azonos: az ingerforrást abba az irányba lokalizáljuk, ahonnan korábban vagy töményebben érkezett a fizikai inger. Az idő-

ben késői vagy gyengébb inger önálló jelzései elvesznek, mert elnyomja őket egy idegrendszeri folyamat, az oldalirányú gátlás. A nem domináns inger hatása csak abban nyilatkozik meg, hogy részt vesz az érzet felépítésében. Erőteljesebb, nagyobb kiterjedésű az érzet az elsődleges ingerforrás egyedi működése során fellépőnél.

Az irányérzet jelentkezéséhez az ízelelésnél szükséges, hogy az ingerlési pontok távolsága elérje a 14 mm-t, továbbá az első jelzés legfeljebb 3 milliszekundummal előzheti meg a később érkezőt. Nagyobb időkülönbségnél két önálló érzet jelentkezik, és megszűnik az irányhatás.

A számos bőrérzékelési, szaglási és irányérzékelési kísérletnél a végeredmények nagyfokú hasonlóságot mutattak. Az irányérzékelés létrejöttéhez szükséges késési időintervallumok szinte teljesen azonos hosszúságúnak bizonyultak. Az egyező eredményekből vonja le Békésy fenti következtetését, és ebben talál magyarázatot az alaphártya szintjén még nem kielégítő frekvenciaszétválasztás idegrendszeri élesítésének lefolyására.

A Békésy-halláselmélet nyitott kérdése még, miként továbbítódnak az idegpályákon a szőrsejtek által leadott jelzések. A probléma tisztázása céljából megvizsgálja a bőr rezgésérzékelő képességét. Ki-

mutatja, hogy kis frekvenciák esetében minden hullámra képes leadni az idegrendszer egy-egy reprezentáló jelzést, nagyobb rezgésszámnál azonban már csak minden második, ötödik, stb. hullám vált ki idegkisülést. További nehézséget jelent, hogy a fiziológusok szerint az idegpályák másodpercenként legfeljebb 4—5000, tüskeszerű elektromos jelzést továbbítanak, tehát képtelenek a 20 000 Hz körüli magas hangok egyedi hullámonkénti továbbítására. Kétségtelennek látszik, hogy hangérzékelés esetében kis rezgésszámnál az idegpálya egy-egy kisüléssel jelképez minden hullámot. Nagyobb frekvenciánál ez lehetetlenné válik,

és ekkor már nem az határozza meg a hangmagasság érzetét, hogy milyen másodpercenkénti impulzusszám jelentkezik a hallásmezőben. Egy további kiegészítő információ is befut az agyba arra vonatkozóan, hogy a Corti-féle szerv melyik részét érte a maximális inger. A nagy frekvenciák érzékelésénél ily módon újra előtérbe kerül a Békésy-féle helyelmélet.

Békésy hatalmas tudományos életművében a halláselméletnek központi szerepe van. Ám kutató szelleme gyakran vezérli messze elágazó ösvényekre, és a kitűzött nagy célt néha feledni látszik. Szívesen időzik érdekes részleteknél; azonban a kerülőutak sokszor bi-

zonyulnak későbbi fontos vizsgálatok előtanulmányainak. A részletekben oly gazdag életművet belső szervezettség szálai fonják át; a dús ornamentikán harmónia uralkodik. A kutatások — ahogy írja — „egyetlen végeredménybe torkollnak.” Mikor Hawaiiiban, alkotóerejének végső hanyatlása előtt pályája csúcsára felér, szinte mindent ismer már, ami a halláselmélet mai legjobb tudásunk szerinti megfogalmazásához szükséges. A következtetések végső összefoglalására a sors már nem hagyott időt. Békésy halláskutatásaival sok kérdésre adott magyarázatot, és számos további problémára irányította a nyomdokain haladó kuta-

tók figyelmét. Munkája monumentális, de nem lezárt egység. Valószínű azonban, hogy ez nincs ellentétben tudományos hitvallásával sem. Számára a természet titkaiért naponta új harcba bocsátkozó ember magatartása a létezés legtermészetesebb változata volt. Amikor Hawaiiiban megrendülni érzi új világának kereteit, a következőket írja le: „. . . minden megváltozott, és én kísérleteimet mégis folytattam. Úgy látszik, a kísérletek tovább megmaradnak, mint az összes politikus, sőt egész országok.” Mi adhatna méltóbb kiteljesedést a zseniális invenciójú kutató életművének, mint az, hogy a kísérletek folytatásának vágyát az ő

szellemének szikrái gyújtották
lángra világszerte az emberi hal-
láskutatás művelőiben?

BIBLIOGRÁFIA

Békésy a tudományos eredmény közlési formájának elsősorban a cikket tekinti. A legrészletesebb bibliográfiák 152 publikációját sorolják fel. A címjegyzék azonban nem teljes körű, mert sem doktori disszertációját, sem magántanári értekezését nem tartalmazza, és nem terjed ki kis számú magyar nyelvű dolgozatára. Összes publikációinak száma kb. 160-ra tehető.

Két könyve jelenik meg. Valójában egyiknek sem szerzője a megszokott értelemben. Mindkettőt E. G. Wever szövegezi meg angol nyelven. Az *Experiments in Hearing* (1960) korábban megjelent, legfontosabb német nyelvű dolgozatainak angol fordítása; továbbá angol nyelvű publikációiból készült válogatás. A *Sensory Inhibition* (1967) egy magnetofonon rögzített előadássorozat sajtó alá rendezett szövege. Az előadások korábban megjelent cikkeire támaszkodnak.

Legfontosabb kutatási eredményeit a következő dolgozataiban publikálta:

Zur Theorie des Hörens ; die Schwingungsform der Basilarmembran. Phys. Z., 29: 793–810. (1928)

Zur Theorie des Hörens ; über die Bestimmung des einem reinen Tonempfinden entsprechenden Erregungsgebietes der Basilarmembran vermittelt Ermüdungserscheinungen. Phys. Z., 30: 115–125. (1929)

Zur Theorie des Hörens ; über die eben merkbare Amplituden- und Frequenzänderung eines Tones : Theorie der Schwebungen. Phys. Z., 30: 721–745. (1929)

Zur Theorie des Hörens : über das Richtungshören bei einer Zeitdifferenz oder Lautstärkenungleichheit der beiderseitigen Schalleinwirkungen. Phys. Z., 31: 824–835, 857–858. (1930)

Über das Fechnersche Gesetz und seine Bedeutung für die Theorie der akustischen Beobachtungsfehler und die Theorie des Hörens. Ann. Phys. (Folge 5), 7: 329–559. (1930)

Zur Theorie des Hörens bei der Schallaufnahme

- durch Knochenleitung. Ann. Phys. (Folge 5), 13: 111—136. (1932)
- Über den Einfluss der durch den Kopf und den Gehörgang bewirkten Schallfeldverzerungen auf die Hörschwelle. Ann. Phys. (Folge 5). 14: 51—56. (1932)
- Über die Hörsamkeit der Ein- und Ausschwingvorgänge mit Berücksichtigung der Raumakustik. Ann. Phys. (Folge 5), 16: 844—860. (1933)
- Über die Hörsamkeit von Konzert- und Rundfunksälen. Elektr. Nach. Tech., 11: 369—375. (1934)
- Über akustische Reizung des Vestibularapparates. Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere. 236: 59—76. (1935)
- Zur Physik des Mittelohres und über das Hören bei fehlerhaftem Trommelfell. Akust. Z., 1: 13—23. (1936)
- Über subjektive harmonische Teiltöne. Akust. Z., 2: 149. (1937)
- Über die mechanisch-akustischen Vorgänge beim Hören. Acta Otolaryngol., 27: 281—296, 388—396. (1939)

Über die Stärke der Vibrationsempfindung und ihre objektive Messung. Akust. Z., 5: 113—124. (1940)

Über die Messung der Schwingungsamplitude der Gehörknöchelchen mittels einer kapazitiven Sonde. Akust. Z., 6: 1—16. (1941)

Über die Schwingungen der Schneckentrennwand beim Präparat und Ohrenmodell. Akust. Z., 7: 173—186. (1942)

Über die mechanische Frequenzanalyse in der Schnecke verschiedener Tiere. Akust. Z., 9: 3—11. (1944)

Über die Frequenzauflösung in der menschlichen Schnecke. Acta Oto-Laryngol., 32: 60—84. (1944)

The sound pressure difference between the round and the oval windows and the artificial window of labyrinthine fenestration. Acta Oto-Laryngol., 35: 301—315. (1947)

The vibratin of the cochlear partition in anatomical preparations and in models of the inner ear. J. Acoust. Soc. Am., 21: 233—245. (1949)

The coarse pattern of the electrical resistance in the cochlea of the guinea pig (electro-anat-

- omy of the cochlea). J. AConst. Sob. Am.,
23: 18—28. (1951)
- Microphonics produced by touching the cochlear partition with a vibrating electrode.*
J. Acoust. Soc. Am., 23: 29—35. (1951)
- DC potentials and energy balance of the cochlear partition.* J. Acoust. Soc. Am.,
23: 576—582. (1951)
- Resting potentials inside the cochlear partition of the guinea pig.* Nature, 169: 241—242.
(1952)
- DC resting potentials inside the cochlear partition.* J. Acoust. Soc. Am., 24: 72—76.
(1952)
- Some electro-mechanical properties of the organ of Corti.* Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.,
63: 448—468. (1954)
- Human skin preception of traveling waves similar to those on the cochlea.* J. Acoust. Soc. Am., 27: 830—841. (1955)
- Simplified model to demonstrate the energy flow and formation of traveling waves similar to those found in the cochlea.* Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 42: 930—944.
(1956)

Neural volleys and the similarity between some sensations produced by tones and skin vibrations. J. Acoust. Soc. Am., 29: 1059—1069. (1957)

Funncling in the nervous system and its role in loudness and sensation intensity on the skin. J. Acoust. Soc. Am., 30: 399—412. (1958)

Similarities between hearing and skin sensations. Psychological Reviews, 66: 1—22. (1959)

Neural inhibitory units of the eye and skin : quantitative description of contrast phenomena. J. Opt. Soc. Am., 50: 1060—1070. (1960)

The influence of inhibition on the sensation pattern of the skin and the eye. In : *Symposium on Cutaneous Sensitivity*, ed. by Glenn R. Hawkes, pp. 50—62. Fort Knox, United States Army Medical Research Laboratory Report no. 424. (1960)

Pitch sensation and its relation to the periodicity of the stimulus. *Hearing and skin vibrations.* J. Acoust. Soc. Am., 33. (1961)

Comments on the measurement of the relative size of the DC potentials and microphonics

- in the cochlea. *J. Acoust. Soc. Am.*, 34: 124. (1962)
- Synchrony between nervous discharged and periodic stimuli in hearing and on the skin.* *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.*, 71: 678—692. (1962)
- Lateral inhibition of heat sensation on the skin.* *J. Appl. Physiol.*, 17: 1003—1008. (1962)
- Modification of sensory localization as consequence of oxygen intake and reduced blood flow.* *J. Acoust. Soc. Am.*, 35: 1183—1187. (1963)
- Die gegenseitige Hemmung von Sinnesreizen bei kleinen Zeitdifferenzen.* *Naturwissenschaftliche Rundschau*, 17: 209—216. (1964)
- Mach band type lateral inhibition in different sense organs.* *J. Gen. Physiol.*, 50: 519—532. (1967)
- Brightness distribution across the Mach bands measured with flicker photometry, and the linearity of sensory nervous interaction.* *J. Opt. Soc. Am.*, 58: 1—8. (1968)
- Mach- and Hering-type lateral inhibition in vision.* *Vision Res.*, 8: 1483—1499. (1968)

Similarities of inhibition in the different sense organs. American Psychologist, 24: 707—719. (1969)

Enlarged mechanical model of the cochlea with nerve supply. In: Foundations of Modern Auditory, ed. by J. V. Tobias, vol. 1, pp. 307—341. New York: Academic Press, Inc. (1970)

Mach bands measured by a compensation method. Vision Res., 12: 1485—1497. (1972)



A kiadásért felelős
az Akadémiai Kiadó és Nyomda Vállalat
főigazgatója

A nyomdai munkálatokat
az Akadémiai Kiadó és Nyomda Vállalat
végezte

Felelős vezető: Hazai György
Budapest, 1990

Nyomdai táskaszám: 90.18725
Felelős szerkesztő: Róbert Zsófia
Műszaki szerkesztő: Kiss Zsuzsa
Kiadványszám: 2765

Megjelent 7,22 (A/5) ív terjedelemben
+ 1 db melléklet

HU ISSN 0133—1884